



PlantGeek

Abschlussbericht

2017 - 2019



FKZ DBU: 33716/01-35

Automatisiertes Aquaponic-System zur nachhaltigen
Erzeugung frischer Lebensmittel



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences



FKZ DBU: 33716/01-35

ABSCHLUSSBERICHT 2 0 1 7 - 2 0 1 9

AUTOMATISIERTES
AQUAPONIC-SYSTEM ZUR
NACHHALTIGEN ERZEUGUNG
FRISCHER LEBENSMITTEL

9. September 2019

Radu M. Giurgiu
Rareş C. Nistor
Manfred Köhler
Dan C. Vodnar
radu.giurgiu@outlook.com
nis.rares@gmail.com
koehler@hs-nb.de
dan.vodnar@usamvcluj.ro

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Geltungsbereich und Ziele	4
3	Materialien und Methoden	7
3.1	Standort	7
3.2	Aquaponisches System	8
3.3	Biologisches Material	10
3.4	Automatisierungssystem	11
4	Messungen	14
5	Ergebnisse	15
5.1	Nährlösung	15
5.1.1	pH und Nitrifikation	16
5.1.2	Gelöster Sauerstoff und Nitrifikation	18
5.2	Fischzucht	19
5.3	Pflanzenzucht	19
5.3.1	Bioaktive Substanzen	22
6	Wirtschaftliche Nachhaltigkeitsberechnungen	28
7	Reichweite und Kommunikation	31
8	Schlussfolgerungen	32

Summary

The PlantGeek project (Automatisiertes Aquaponic-System zur nachhaltigen Erzeugung frischer Lebensmittel) aimed to improve the knowledge on the Ecosystem food production systems with respect to the interactions between organisms involved, fish, bacteria and plants. The multi-organism systems are having less negative impact on the environment and make more resilient food production systems. The aim was to optimise each of the crops by collecting relevant data to be used in a data driven automation. The results showed that the aquaponic systems are viable food production systems, where the plants can be cultivated on the wastewater from the fish in a closed loop. This report presents the latest results on the nutrient solution optimisation, plant yields, development and quality and fish feeding behaviour, yield and growth. The system was fully automatised after a number of iterations which proved the value of using big data and ICT in the novel food production systems.

1 Einleitung

Zu den Zielen der Vereinten Nationen für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs) gehören „Null-Hunger“, „Innovation in der Industrie und Infrastruktur“ sowie „nachhaltige Städte und Gemeinden“ [3]. Diese Ziele stehen mit der Nahrungsmittelproduktion und der städtischen Landwirtschaft (Urban Farming, UF) in Verbindung. Die typische Landwirtschaft in der Fläche nutzt, je nach Land zwischen 11% und 40% der gesamten Landfläche. Kritiker sehen bei zunehmender Weltbevölkerung, Flächenkonkurrenz um Böden und dem Klimawandel Ursachen in einer genauen Betrachtung der Möglichkeiten und dem Erschließen neuer Varianten der Nahrungsmittelproduktion. Der hohe Druck auf die Agrarflächen, insbesondere als Bauland spiegelt sich nicht zuletzt in den Preisen für Agrarland wieder. Die steigenden Preise machen es aber auch zunehmend attraktiver, in alternative Produktionsweisen zu investieren.

Der Klimawandel drängt die Landwirte, Wege zu finden, um mit der Unvorhersehbarkeit und den Wetterereignissen fertig zu werden, die die Ernte gefährden können. Alternativ gibt es einen zunehmenden Trend in der kontrollierten Umweltlandwirtschaft ([2]) für die Lebensmittelproduktion. Die CEA-Strategien können in den Städten umgesetzt werden, großer Vorteil ist die einheitliche, witterungsunabhängige Produktion von Lebensmitteln. Der Nachteil ist der Energieverbrauch und die schlechte Anwendbarkeit der Technologie in weniger entwickelten Ländern. In einer kontrollierten Umgebung können die Faktoren, die die Pflanzen beeinflussen, genau überwacht und kontrolliert werden. Diese Technologie eröffnet Möglichkeiten Verbesserung der Erträge und der Qualität der Nutzpflanzen sein. Die Pflanzen sind komplexe Organismen, und die auf eine Vielzahl möglicher Variablen wie Lichtspektrum und Intensität, die Nährlösung in all ihren Formen, CO₂, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Schädlinge, Krankheiten usw. reagieren. Diese komplexen Wechselwirkungen können in der Pflanzenproduktion beeinflusst werden. Neben Wissen zur Pflanzenbau ist bei diesen Systemen eine Reihe von weiterem Spezialwissen, etwa zur Bewässerungssteuerung und dem Monitoring erforderlich. Es handelt sich um einen kontrollierten Anbau, mit der ständigen Analyse einer Vielzahl von Eingangsparametern. Das erfolgt mit dem Ziel, den Ertrag und die Qualität der Pflanzen zu verbessern. Weiterhin Stoffe, die bisher als Abfall betrachtet werden, als Wertstoffe in den Stoffkreislauf wieder einzubauen. CEA und vertikale Landwirtschaft (gestapelte Pflanzenschichten in einer kontrollierten Umgebung zur Verbesserung der Anbaufläche) beruhen meist auf Formen des intensiven Anbaus weniger aber effektiver Kulturpflanzen und entsprechender Sorten. Für entsprechende Landwirte besteht hier zukünftig der Bedarf das Wissen über diese und weitere Sorten weiter auszubauen um um die Erträge und die Qualität weiter zu maximieren.

Das Interesse an dieser Arbeitsweise ist groß, da es sich um ein relativ jun-

ges Arbeitsfeld handelt, sind noch einige Wissenslücken zu schließen und gute Erfahrungen auf weitere Kulturpflanzen auszudehnen. Im Rahmen dieses Projektes wurden insgesamt mehr Daten zu den relevanten Parametern gesammelt um eventuelle Ausfälle mit einer Zahl redundanter Erfassungen zu überbrücken. In späteren Praxisanwendungen kann die Zahl der Sensoren deutlich auf diejenigen reduziert werden, die Schwellenwerte anzeigen. In diesem Forschungsprojekt werden Datensätze generiert, die das Know-how in dieser besonderen Form des Pflanzenbaus erhöhten und entsprechende Erkenntnisgewinn in CEA generierten. Neue Technologien wie das Internet der Dinge ([1]) helfen beim Übergang zu einer autonomen Kultivierung, indem sie KI- und maschinelle Lernsysteme anwenden, die die Lebensmittelprodukte ständig verbessern.

Als Hürden in dieser schönen neuen Welt sind zu nennen:

- Hohe Kosten für die erforderliche Technik insbesondere der elektronischen Bauteile, die es für diesen Zweck erst in kleiner Stückzahl oder durch eine entsprechend technische Anpassung gibt.
- Zuverlässigkeit der Sensoren, sie sind bei dieser Anwendung häufig in feuchten Milleus eingesetzt.
- Zuverlässigkeit der Sensoren, sie sind bei dieser Anwendung häufig in feuchten Milleus eingesetzt.
- Schnelle Datenaufbereitung für eine schnelle Reaktion auf eventuelle Veränderungen im System
- Modellierung aus den Messwerten, die das Ökosystem Pflanzen – Tier in allen Entwicklungsphasen so korrekt abbilden, dass weder zuviel Futter an die Fische gegeben wird, noch dass die nachgeordneten Pflanzen überdüngt werden.

Dieser Bericht konzentriert sich hauptsächlich auf die Aspekte des vollständigen Automatisierungs- und Modellierung.

2 Geltungsbereich und Ziele

Das Forschungsprojekt zielt darauf ab, das Wissen über den Pflanzenbau mit der verfügbaren Technologie zu verbinden, um das Ökosystem der Lebensmittelproduktion zu verstehen, zu quantifizieren und schließlich zu verbessern. Die Konzentration auf preisgünstige Sensoren und Plattformen für die Automatisierung erfolgte aus folgenden Gründen:

i) Testen der Möglichkeiten und Grenzen sowie der Robustheit der Automatisierung mit einer erschwinglichen Infrastruktur für den Anlagenbau und die Forschung, und

ii) Mit dem begrenzten Finanzbudget möglichst umfassende Datenmengen von vielen relevanten Parametern zu erhalten. Das Ökosystem der Innenraumbegrünung und deren Umweltfaktoren möglichst genau abzubilden.

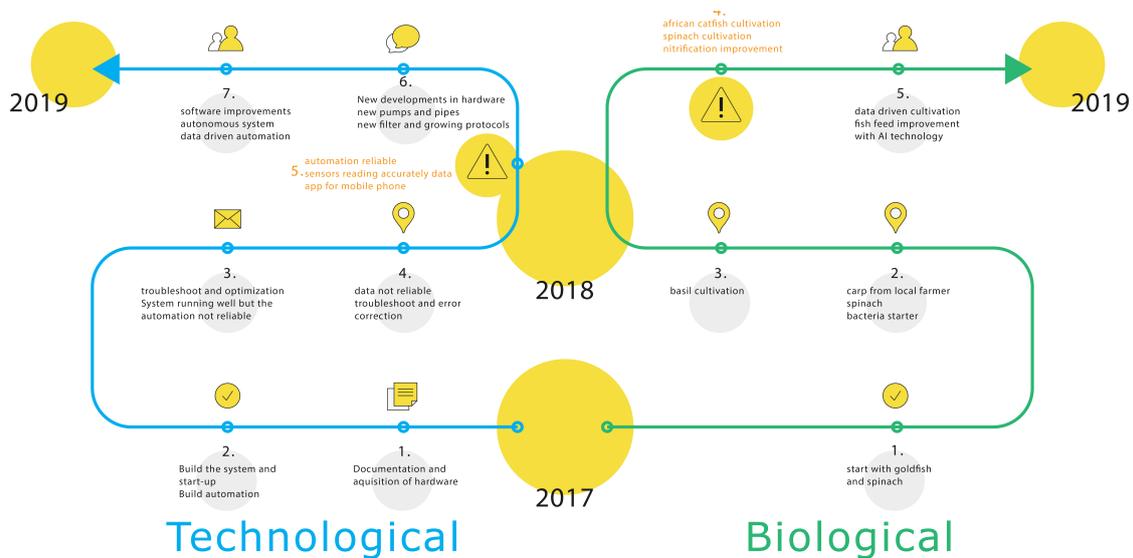


Abbildung 1: Meilensteine und Entwicklung des Forschungsprojekts auf den technischen und biologischen Zielbahnen

Es sind mindestens drei Experimentwiederholungen von der Aussaat bis zur Ernte durchzuführen, um ausreichend Vergleichsmaterial zu generieren. Bei allen durch das System gesammelten Messungen und Daten führen die Wiederholung zum Aufbau / zur Optimierung des Systems für die folgenden Experimente. Jede Wissensausgabe wird später wieder in die Automatisierung einfließen, um die neuen Ideen weiter zu verbessern und zu validieren. Ziel war es, ein sich selbst anpassendes, autonomes System zu schaffen, bei dem die Qualität der Anlage der Hauptindikator dafür ist, wie alle anderen Faktoren gesteuert werden sollten. Das zweite Ziel bezog sich auf die Lücke in den wissenschaftlichen Bemühungen der Industrie- und Entwicklungsländer aufgrund der Unterschiede in der Forschungsinfrastruktur. Wir wollten nachweisen, dass die Kosten den hohen Forschungsstandard nicht beeinträchtigen dürfen. Unser System, obwohl mit weniger teuren Materialien, könnte wertvolle Einblicke in Lebensmittelproduktionssysteme generieren. Darüber hinaus werden die automatisierten Anbausysteme in der Regel von festgelegten Schwellenwerten gesteuert, die dem System mitteilen, wann es zu starten und wann zu stoppen ist. Ein besserer Ansatz für die Zukunft der Nachhaltigkeit

wäre die Implementierung datengesteuerter Automatisierungssysteme. Wenn die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Parametern wie Ammoniak, Temperatur und pH-Wert bekannt sind, die die Prozesse im Wasser stark beeinflussen, kann das Automatisierungsskript so konzipiert werden, dass dies in Echtzeit berücksichtigt wird. Dies wird das System besser optimieren und den Weg für die Implementierung von maschinellem Lernen in der Landwirtschaft ebnen.

3 Materialien und Methoden

3.1 Standort

Das Forschungsprojekt wurde an der Universität für Agrarwissenschaften und Veterinärmedizin in Cluj-Napoca (Rumänien) im Institut für Biowissenschaften durchgeführt. Das Labor wurde im Untergeschoss des Instituts errichtet, um Einfluss von der äußeren Umgebung zu verringern (Figur 2).



Abbildung 2: Das PlantGeek Labor; auf dem bild sind die basilikumkultivierungsschalen zu sehen und die wichtigsten plattformen, auf denen die daten von sensoren und der schnittstelle auf einem lokalen laptop gesammelt werden

Die Belüftung und Klimatisierung erfolgte mit einer mobilen Klimaanlage, die an die zentrale Lüftungsanlage angeschlossen war. Die Anlage konnte im Zeitraum Juli 2017 bis September 2017 fertiggestellt werden und wird seitdem betrieben. . Das Aquaponic-System und die Bewässerung wurden von den an dem Projekt beteiligten Forschern entworfen und implementiert. Nachdem das System funktionsfähig war,

wurden die Fische eingesetzt und die Parameter der Nährlösung kontinuierlich überwacht. Das Sensorsystem und die Software wurden zeitgleich entwickelt und in den folgenden Monaten bis zum Jahresende getestet. Nach der erforderlichen Kalibrierung und zur Entwicklung des Protokolldesigns konnten die eigentlichen Experimente wie weiter beschrieben, durchgeführt werden.

3.2 Aquaponisches System

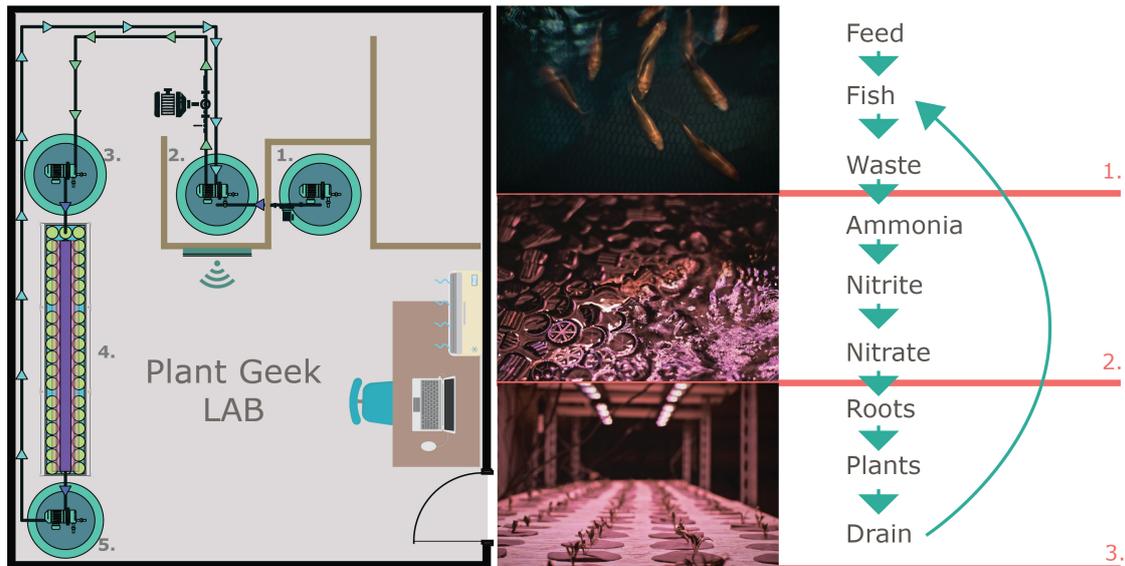


Abbildung 3: Plan of the PlantGeek lab with the tanks, water flow, and the nitrification process

Das System besteht aus 4 Wassertanks (3 von 500 l und der 4. von 300 l) und zwei vertikal angeordneten Pflanzentablets (ca. 150 l, jeweils 3 m lang, mit einstellbarem Wasserstand). Die Tablett wurden aus Holz als Becken mit Teichkunststoffolie gebaut, um das Wasser darin zu halten. Am Ende der Tanks wurde eine Entwässerung vorgenommen, die den Wasserstand während des gesamten Vegetationszyklus steuern kann. Das Bewässerungssystem wurde mit 20-Zoll-Kunststoffrohren hergestellt, die mit den Pumpen im System verbunden waren. Die LEDs wurden über jedem Tablett mit einem selbstgebautes System installiert, das es ihnen ermöglicht, die Lichtintensität durch Auswahl der Höhe der Pflanzen zu steuern. Alle Komponenten, die für den Aufbau des Systems benötigt wurden, wurden vor Ort beschafft, und das Team baute das System funktionstüchtig auf.

Der Nährstofffluss ist ebenfalls in der Figur 3 beschrieben und ist wie folgt. Vom Aquarium (2) wird das Wasser durch einen mechanischen Filter, der die Feststoffe zurückhält, zum biologischen Filter mit nitrifizierenden Bakterien (3) gepumpt.

Ferner wird das Wasser zu den beiden Pflanzenschalen (4) gepumpt und fließt dann durch Schwerkraft in den Abfluss (5), von wo aus das Wasser zurück zum Aquarium gepumpt wird. Der Wasserfluss wird basierend auf Wasserstandssensoren automatisiert. Darüber hinaus werden Wasserparameter wie pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (EC), gelöster Sauerstoff (DO), Temperatur- und Umgebungsparameter wie Temperatur, Feuchtigkeit und Lichtintensität durch das Sensorsystem in jedem Tank und jeder Schale überwacht. Ergänzt werden die erhobenen Daten durch wöchentliche Messungen der Pflanzen (biometrische Daten und chemische Analysen), der Fische (Gewicht und Größe) sowie durch Laboranalysen der Nährlösung (Nitrit und Nitrat).

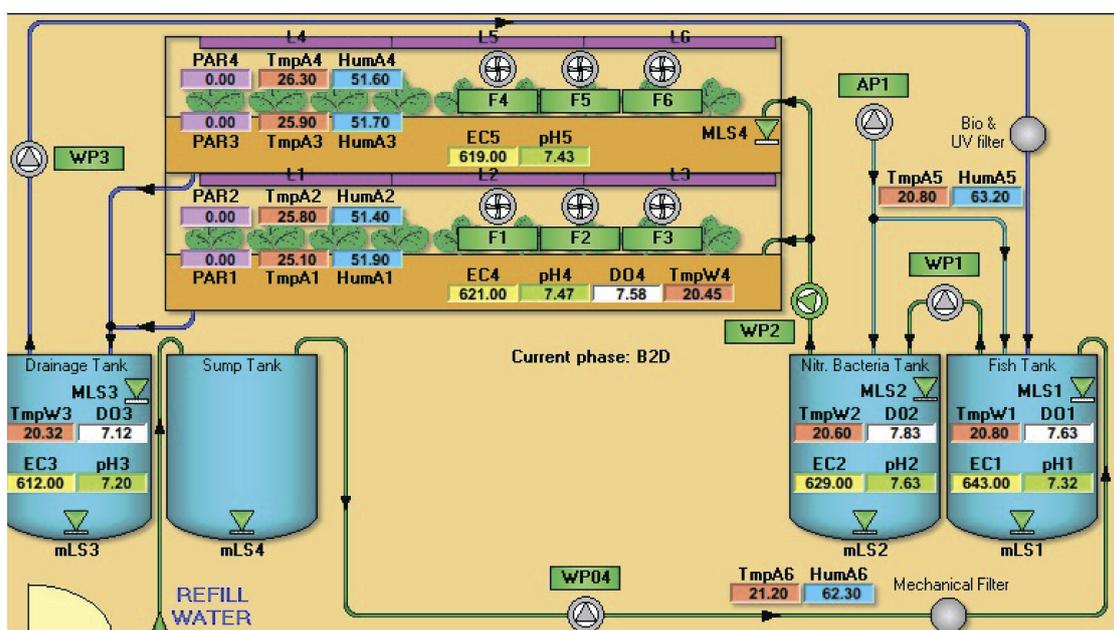


Abbildung 4: Die Schnittstelle wurde für die Fernüberwachung des Systems entwickelt. Die Boxen repräsentieren Daten in Echtzeit

Ergänzend zum Aufbau des Systems wurden die Sensoren aus dem System beschafft, getestet und die Software entwickelt. Sobald sie an der Universität waren und an den entwickelten Sensoren getestet wurden, begann der für die Automatisierung verantwortliche Dritte, sie in das System zu implementieren. Mit dem Forschungsteam wurden häufige Optimierungen und Fehlerbehebungen durchgeführt, um zuverlässige Daten zu erhalten und die Automatisierung für den Zweck des Projekts zu entwerfen.

Wie in Figur 4 ?) gezeigt, wurde eine Schnittstelle erstellt, auf die von jedem mit dem Internet verbundenen Gerät aus per Fernzugriff zugegriffen werden kann. Von dort aus kann das Team in Echtzeit die Daten der Sensoren abrufen und sehen, in

welchem Zustand sich das System gerade befindet. Dies ermöglichte eine ständige Kontrolle und Überwachung, gab aber auch wertvolle Einblicke in die Effizienz des Systems.

Durch Auswahl eines beliebigen Datenpunktes können Echtzeitdiagramme erstellt werden, in denen alle Arten von Daten oder Datensätzen untersucht werden können. Dies gab wichtige Einblicke in die Trends einiger Parameter, die es den Forschern ermöglichten, die Effizienz des Systems zu beurteilen und festzustellen, ob es der Versuchsplanung entspricht.

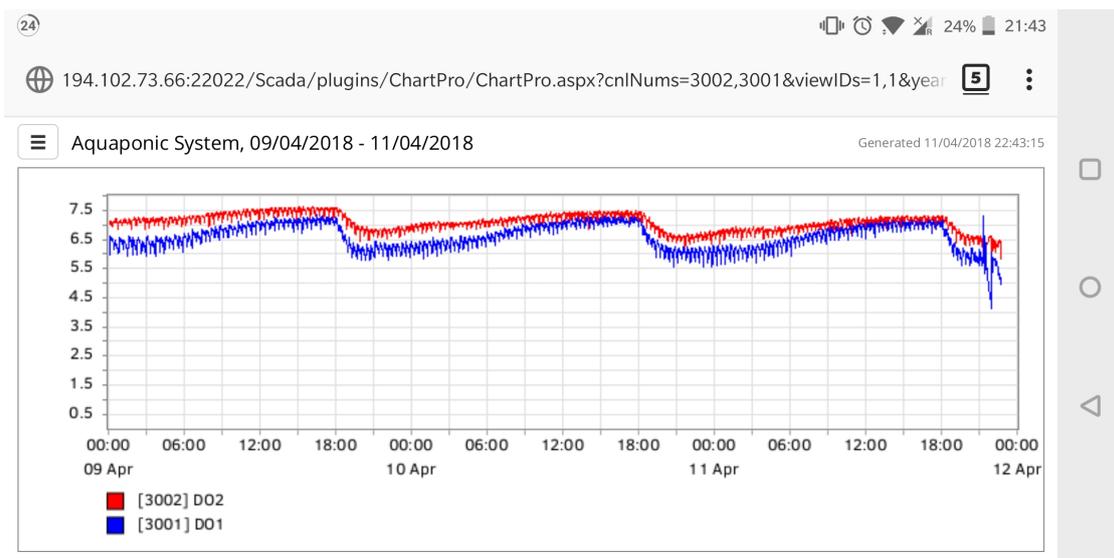


Abbildung 5: Gelöster Sauerstoff aus zwei Tanks an der Schnittstelle eines Mobiltelefons beobachtet. Die Abnahme des Sauerstoffs korreliert mit der Fütterungszeit des Fisches

3.3 Biologisches Material

Ziel des Forschungsprojekts war es zu sehen, wie wir durch Automatisierung und ein großes Sensornetzwerk die Prozesse im künstlichen Ökosystem besser verstehen können. Wir wollten widerstandsfähige Fische und Pflanzen züchten, die nicht nur für die Art des verwendeten Systems bekannt sind, sondern auch für ihre Ernährungsfaktoren. Wir hatten insgesamt acht Wiederholungen von der Aussaat bis zur Ernte. Daher haben wir jeweils Goldfisch, Karpfen zusammen mit Spinat, Salat und Basilikum und schließlich afrikanischen Wels und Basilikum angebaut.

Die Pflanzen wurden aus Samen kultiviert und in Steinwoll-Substratwürfeln gepflanzt. Sobald sie das erste Blattpaar von echten Blättern gebildet hatten,

wurden die Pflanzen in das System eingesetzt. Es wurden 150 Pflanzen pro Schale kultiviert, mit insgesamt 300 Pflanzen auf 3 m².

Die Fische wurden von lokalen Anbietern bezogen. Die Karpfen wurde in der Wintersaison von einem Kleinbauern in der Nähe der Stadt erworben. Die Wels stammen aus der Stadt Arad, dort züchtet ein Bauer diese in Thermalwasserbecken mit der erforderlichen Temperatur. Die afrikanischen Welsarten wurden professioneller kultiviert, daher halfen auch das Futter und die Anleitung des Züchters sie im System zu etablieren.

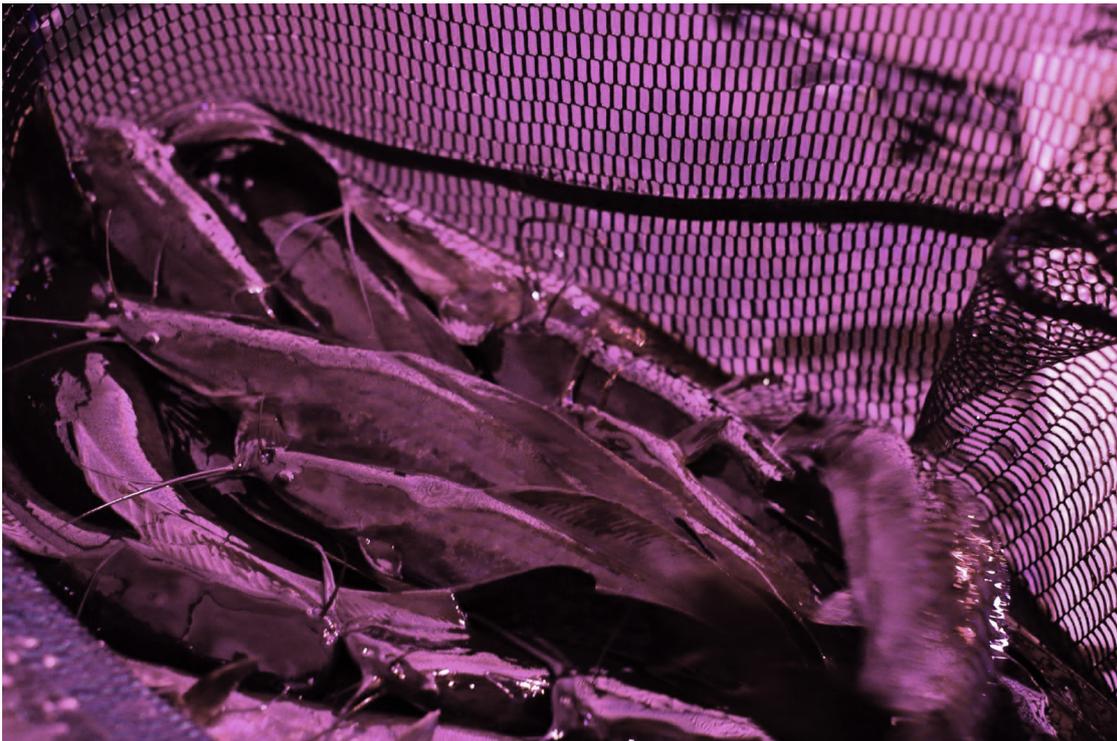


Abbildung 6: Afrikanischen Welsarten

3.4 Automatisierungssystem

Das Automatisierungssystem und die Iterationen, die zum Arbeitssystem führen, werden ausführlich im zuvor versendeten Zwischenbericht beschrieben (Beigefügt zu diesem Bericht).

Hier ist eine Zusammenfassung der Sensoren: Füllstandsensoren: Berührungsloser Füllstandsensor, basierend auf XKC-Y25-T12V. Wenn sie sich außerhalb der Wassertanks befinden, ist die Wartung geringer und der Durchfluss zuverlässiger. Die Möglichkeit, die Empfindlichkeit der Sensoren zu ändern, ist ebenfalls von Vorteil,

da die Dicke des Tanks selbst den Sensor stören kann, der das Wasser nicht richtig erkennt.

Gelöster Sauerstoff: Die Probe (Szientifisch Atlas DO-Probe) wird in einem konstanten Wasserstrahl entnommen. Das ist die beste Methode, die wir für genaue Messungen fanden. Um diesen konstanten Durchfluss zu gewährleisten, haben wir einige Wasserpumpen (Eheim Compact ON 300 l/h) installiert, die einen Durchfluss von 300 Litern pro Stunde haben und in der Regel für hausgemachte Aquarien verwendet werden. Außerdem haben wir für jede Pumpe ein Umwälzsystem entwickelt, damit die Sonden im bereits erwähnten konstanten Wasserfluss installiert werden können. Das Umlaufsystem mit den Sonden schwimmt auf Wasser. Mit dieser Methode vermeiden wir die hohe Wartung der Pumpe, da die Feststoffe, die auf den Boden der Wassertanks fallen, im Rotor der Pumpe hängen bleiben.

pH: Die pH-Sonden werden in dasselbe Umlaufsystem wie die DO-Sonden gestellt. Wenn ein konstanter Wasserfluss durch den Erfassungsbereich der Sonde fließt, wird auch die Sonde gereinigt, indem die Feststoffe entfernt werden, die sich oben auf der pH-Sonde festsetzen können. Wir verwendeten eine A1005-Box, die den pH-Wert mithilfe der Sonde liest und in eine analoge Spannung (0-5 VDC) umsetzt. Diese Spannung wird später von einem Arduino Nano gelesen.

PPFD: Um die größtmögliche Genauigkeit bei unseren Lux-Sensoren (BH1750) zu erzielen, haben wir Diffusionskuppeln für Blitzlichter für die Fotografie bestellt und kundenspezifische Styroporgehäuse sowohl für den Sensor als auch für den Diffusor erstellt. Wir haben das Licht mit einem professionellen Spektrometer gemessen und einen Transformationskoeffizienten zwischen Lux und PPFD ermittelt. Wir haben diesen Umrechnungskoeffizienten dann in unser System implementiert und können nun die PPFD zuverlässig im gesamten System lesen. Es gibt einige kritische Faktoren, die für die Messung von PPFD mit erschwinglicher Technologie ins Spiel kommen: Die Sensoren selbst, der Abstand zwischen Sensor und Kuppel, die Lichteigenschaften des Diffusionsdoms und des Sensors müssen so parallel wie möglich zur Messfläche stehen müssen.

Nanosensorplatte: Wir haben ein Netz aus drahtlosen Sensoren erstellt. Arduino verwenden Nanos, wir haben ein Nanosensorplatte entwickelt, das auch einen NRF24L01 (Radio Wireless Transceiver) und einen Basic EZO Inline-Spannungsisolator von Szientifisch Atlas enthält. Dieser Isolator ist entscheidend für genaue und stabile Sauerstoffmessungen. Auch die Arduino liest die Wassertemperatur mit Hilfe eines DS18B20-Sensors und kompensiert den DO-Wert mit dieser Temperatur. Jedes Nanosensorplatte wird von einem eigenen 5-V-1A-Netzteil gespeist, wodurch eine vollständige galvanische Trennung der Sensoren gewährleistet ist.

Luftfeuchtigkeit und Temperatur: Mit einem DHT22 lesen wir die Luftfeuchtigkeit und Temperatur an 6 verschiedenen Stellen in der gesamten Umgebung. Durch die Verwendung digitaler Sensoren wird die allgemeine Robustheit des Sys-

tems verbessert. Das System wurde verwendet, um den Wasserfluss automatisch zu steuern und große Datenmengen in Echtzeit zu erfassen. Wenn wir die Daten aus der Ferne zur Verfügung haben, können wir die Trends und die Effizienz des Systems verstehen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Automatisierung des Systems und der datengetriebene Ansatz für das Management eines Indoor-Ökosystems die Wissensbasis der Landwirte oder Praktiker verbessern und die Informationen zur Verbesserung der Effizienz des Aquaponic-Systems nutzen können.

4 Messungen

Die Pflanzen, die Fische und die Umweltparameter wurden regelmäßig durch die Sensoren des Systems überwacht und die Analyse im Labor durchgeführt. Das Wachstum und die Gesundheit der Fische wurden überwacht, indem sie wöchentlich gewogen und alle gesundheitlichen Stresssignale analysiert wurden. Die Umgebungsparameter wie Wassertemperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (EC), insgesamt gelöste Feststoffe (TSS), gelöster Sauerstoff (DO) und Nitrit (NO_2) und Nitrat NO_3) sowie Lichtintensität, Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur wurden jede Minute von den Sensoren und wöchentlich im Labor gemessen. Die Pflanzenentwicklung wurde auch durch biometrische Messungen von Blattfläche, Stammlänge, Wurzellänge, frischer und trockener Biomasse überwacht, und die biologisch aktiven Substanzen der Pflanzen wurden im Labor mit der HPLC-Methode analysiert. Daher wurden Vitamin C, Carotinoide und Phenole bestimmt. (Figur 7).

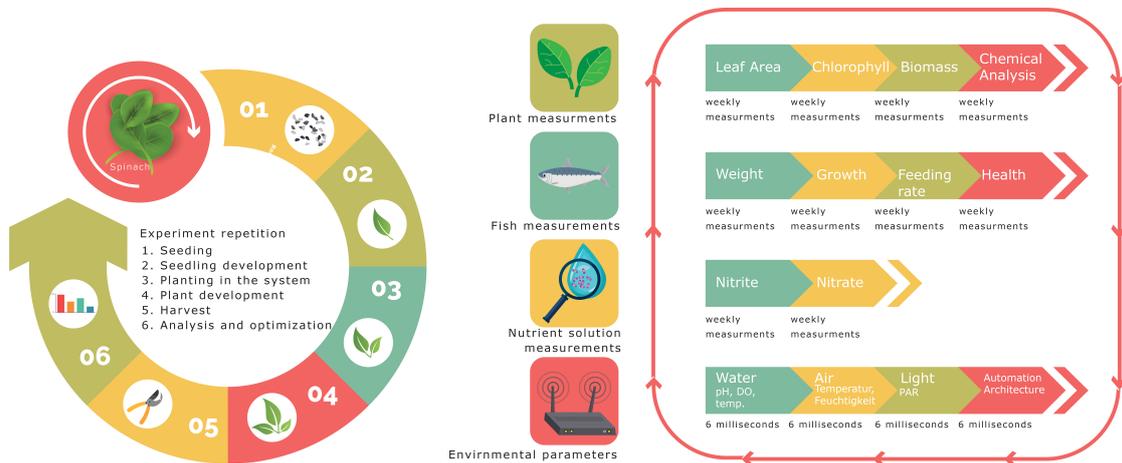


Abbildung 7: Die Messungen während eines Vegetationszyklus vom Samen bis zur Ernte

5 Ergebnisse

Die ersten Versuche mit Goldfisch und Spinat sowie Karpfen und Spinat waren die Experimente, die das System aufbauten und Erkenntnisse ergaben, die es uns ermöglichten, die Hard- und Software zu optimieren, um die vorgeschlagenen Ziele zu erreichen. Diese Experimente wurden im zuvor eingereichten Bericht beschrieben (Bericht als Anhang anfügen), sodass wir uns für den Abschlussbericht auf die Abschlussversuche und die neuesten Ergebnisse konzentrieren werden. Daher werden hier drei Experimente zum Anbau von afrikanischem Wels und Basilikum vorgestellt.

5.1 Nährlösung

Das wichtigste Element im aquaponischen System ist die Umwandlung des Fischabfalls in geeignete Nährstoffe für die Pflanzen. Dieser Prozess, der von Nitrifizierungsbakterien durchgeführt wird, wandelt Ammoniak in Nitrit als Nitrat um. Andere Parameter der Wasserqualität wie pH-Wert und gelöster Sauerstoff beeinflussen diesen Nitrifikationsprozess und wurden berücksichtigt. Das Fütterungsverhalten der Fische war weniger vorhersehbar als erwartet und erwies sich als einer der Haupttreiber des Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesses.

Wie in der Figur 8 zu sehen ist war die Nitrifikationsdynamik in den drei Vegetationszyklen recht unterschiedlich. Zwischen den ersten beiden Vegetationszyklen unterschieden sich Hard- und Software nicht wesentlich. Tatsächlich waren der Fischtyp und die Biomasse die wichtigsten Änderungen. Es war interessant zu sehen, dass beim Anbau von Karpfen der Nitratumsatz höher war. Dies kann an der Zeit liegen, die das System anpassen muss. Da der Karpfen seit einigen Monaten im System vorhanden ist, wurde das Nitrifikationsbakterium etabliert, sodass das Nitrat im Vergleich zum Vegetationszyklus, in dem der afrikanische Wels eingeführt wurde, höher war. Wie in der Abbildung zu sehen ist, war das Nitrat im dritten Vegetationszyklus jedoch signifikant höher. Das System wurde mit dem afrikanischen Wels gut etabliert und es gab auch Verbesserungen für die Hardware und Software.

Der Nitrifikationsprozess weist eine hohe Dynamik auf. Dies zeigt, wie unterschiedlich die Produktion von Lebensmitteln in einem Ökosystem ist und wie viele Faktoren diesen Nitrifikationsprozess beeinflussen. Daher werden mehr Sensoren und Echtzeitdaten das Wissen verbessern und zu einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion beitragen.

Es gab nur wenige Fälle, in denen das NO_2 nahe bei Null lag; Dies ist das Ziel, da das Nitrit für Fische giftig ist. Das NO_3 wies eine hohe Fluktuation auf, lag jedoch immer im Bereich der Nährstoffe, die den Anforderungen der Pflanzen entsprachen. Tatsächlich hätten mit der afrikanischen Welsbiomasse und dem Bakterienreaktor mehr Pflanzen kultiviert werden können.

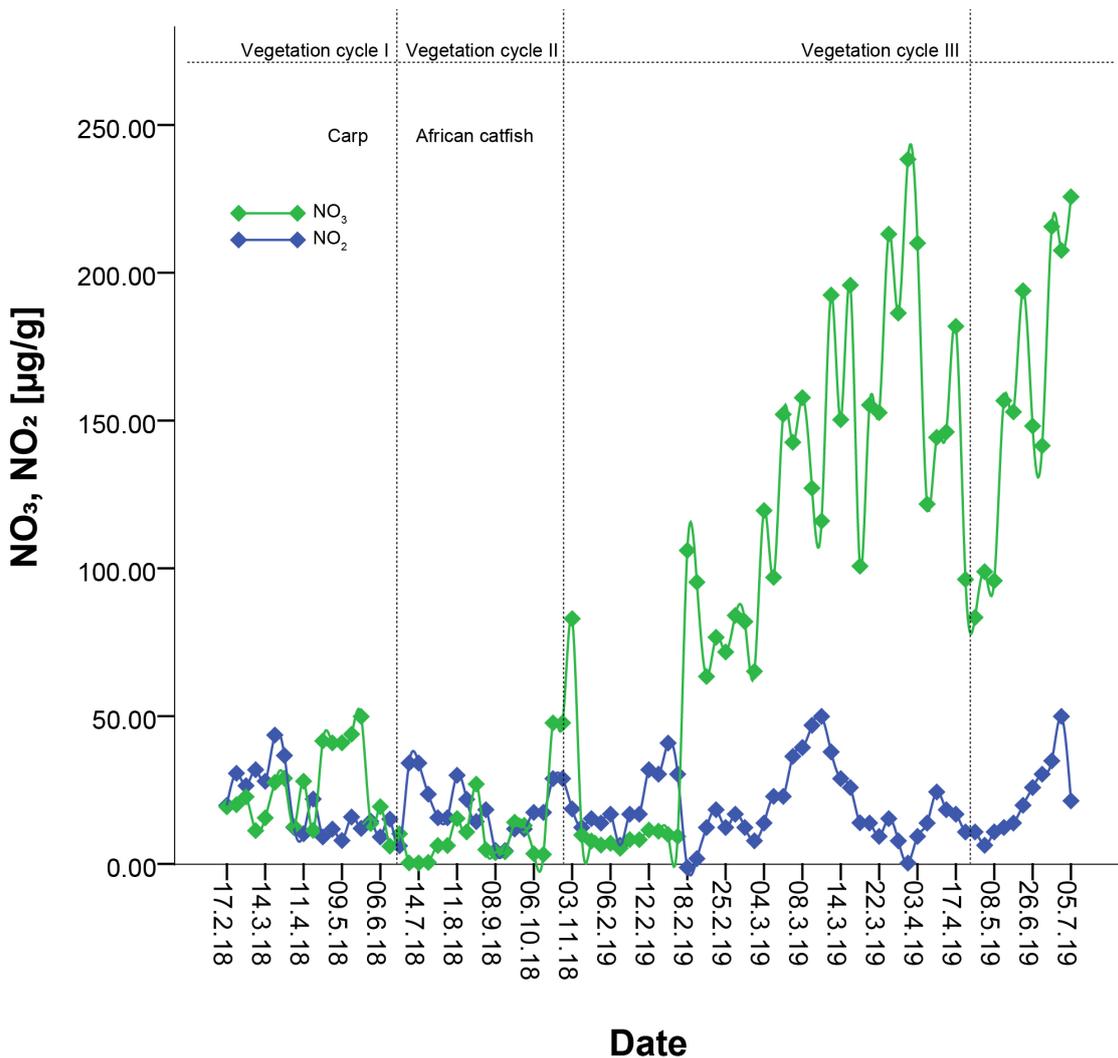


Abbildung 8: NO₃ and NO₂ Dynamik während der drei Vegetationszyklen

5.1.1 pH und Nitrifikation

Eines der Proxi-Daten, die zeigen, dass die Nitrifikation stattfindet, ist der pH-Wert; Der Abfall des pH-Wertes zeigt die Aktivität der nitrifizierenden Bakterien. Ziel der Forschung war es, Wissen zu erlangen, ohne den in der Aquaponik üblichen pH-Wert zu verändern. Daher hatte die pH-Dynamik einen sehr hohen Bereich. Es ist zu beobachten, dass bei höchster Nitrifikation mit hohen Nitratwerten der pH-Wert mit einem Minimum im Bereich von pH 4 am niedrigsten war. Diese pH-Abnahme beeinflusste auch das Fischfütterungsverhalten, was wiederum die Nitrifikation beeinflusste. Es ist daher ratsam, den pH-Wert zu kontrollieren, obwohl

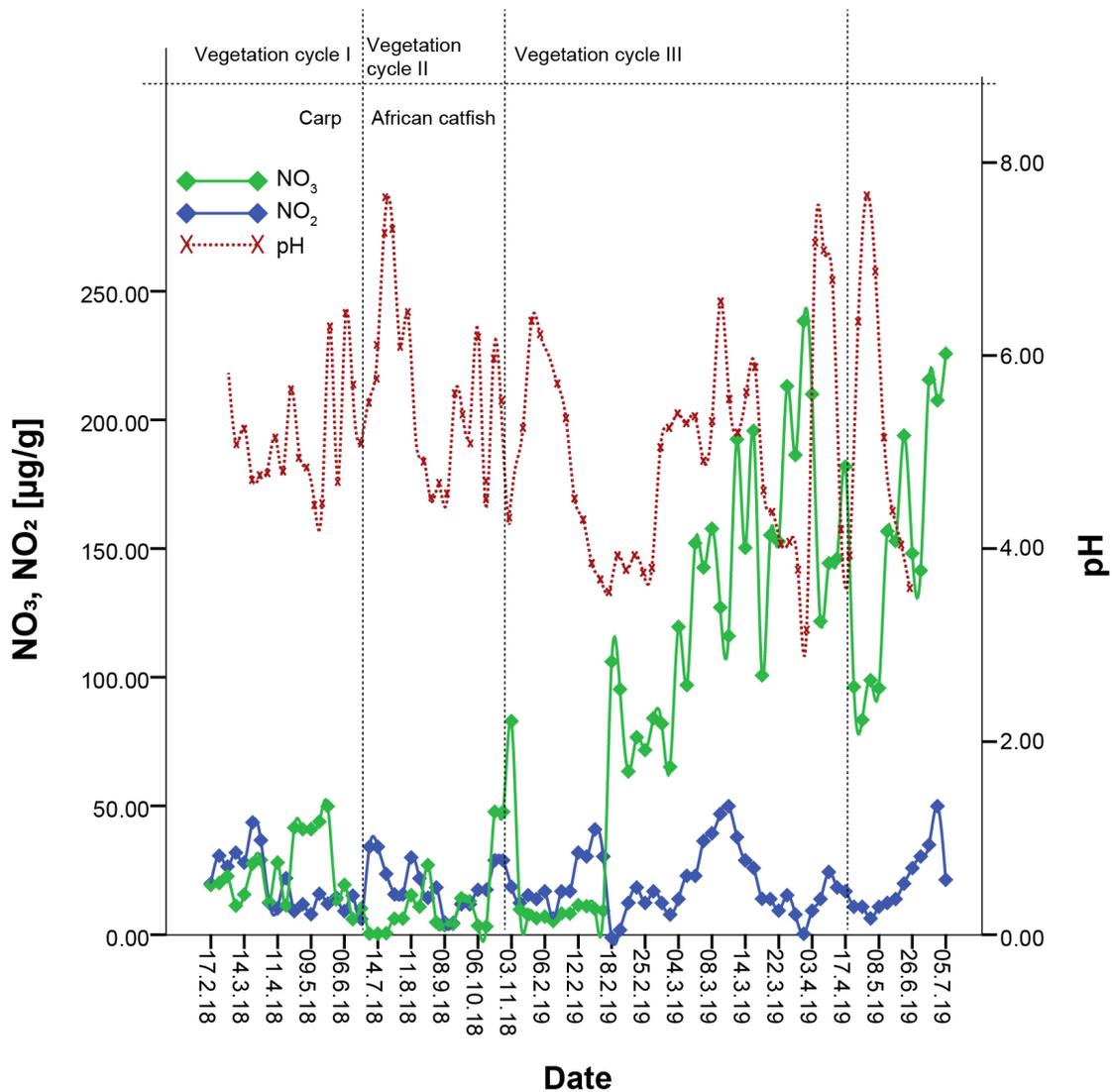


Abbildung 9: NO_3 and NO_2 und pH Dynamik während der drei Vegetationszyklen

die Ergebnisse zeigen, dass das System diese Dynamik anpasst und ausgleicht. Wenn mehr Daten von Sensoren verfügbar sind, könnten Algorithmen für maschinelles Lernen diese Änderungen vorhersagen und alle Parameter berücksichtigen, die für eine effizientere Produktion von Lebensmitteln im Ökosystem relevant sind.

Bei Betrachtung der verschiedenen Vegetationszyklen war die pH-Dynamik etwas ähnlich. Die interessantesten Beobachtungen können im letzten Teil des dritten Vegetationszyklus gemacht werden. Der pH-Wert und das Nitrat hatten eine umgekehrt proportionale Dynamik. Wenn die Nitrifikation hoch war und mehr Nitrat

aus Nitrit umgewandelt wurde, fiel der pH-Wert ab. Dies könnte das Fütterungsverhalten der Fische beeinflusst haben, so dass die Fische weniger Futter fressen. Die im Wasser gelösten Feststoffe könnten zum Abbau von Sauerstoffbereichen führen, in denen heterotrophe Bakterien gedeihen und zur Denitrifikation führen würden, wobei Nitrogenium in der Luft freigesetzt wird. Dieser Prozess würde auch zu einem höheren pH-Wert führen, so dass der Prozess erneut beginnen würde.

5.1.2 Gelöster Sauerstoff und Nitrifikation

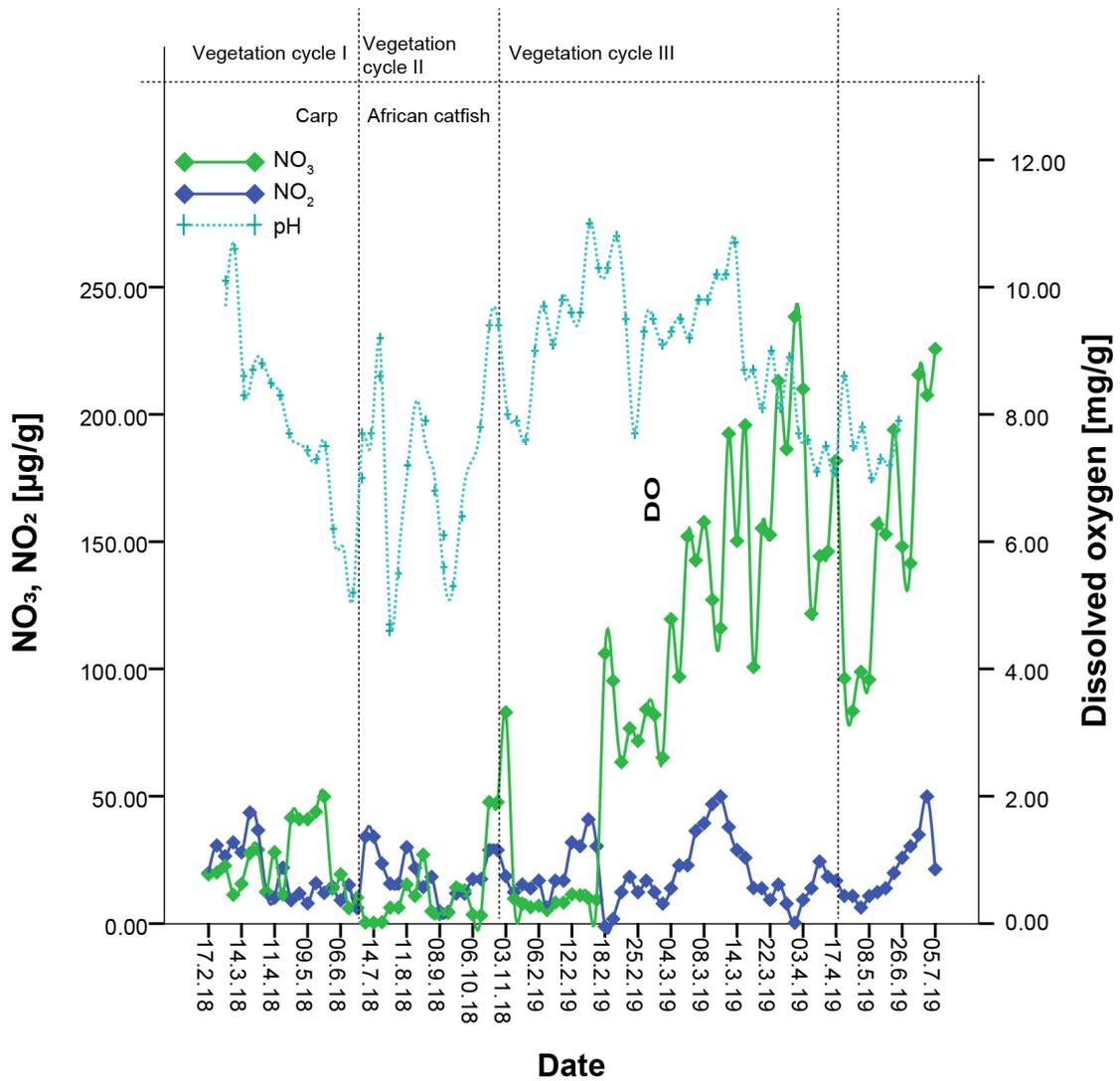


Abbildung 10: NO₃ and NO₂ und gelöstem Sauerstoff (DO) Dynamik während der drei Vegetationszyklen

Der gelöste Sauerstoff ist wichtig, da er den Nitrifizierungsprozess beeinflusst. Während des gesamten Projekts lag der gelöste Sauerstoff bei über 4 mg L^{-1} und im Allgemeinen bei $6-8 \text{ mg L}^{-1}$; Diese Werte gelten im Allgemeinen als optimal für die nitrifizierenden Bakterien. Nach dem zweiten Vegetationszyklus wurden weitere Hardware-Optimierungen vorgenommen, indem die Rohre von 20 Zoll auf 25 Zoll gewechselt wurden, leistungsstärkere Pumpen und auch eine leistungsstärkere Luftpumpe. Dies ist an dem im Durchschnitt stark gelösten Sauerstoff um 10 mg L^{-1} zu erkennen, der auch zu einem so effizienten Nitrifikationsprozess hätte führen können. Der Sauerstoffmangel im letzten Teil des Diagramms könnte auch auf das Wachstum der Fische und die angesammelten Feststoffe zurückzuführen sein, die Areale mit niedrigem Sauerstoffgehalt schaffen.

5.2 Fischzucht

Der Fischtyp und insbesondere das Wachstum und die Biomasse beeinflussten den Nitrifikationsprozess stark. Der Karpfen hatte eine sehr lange Anpassungszeit und die Futterraufnahme war sehr gering im Vergleich zum afrikanischen Wels, der eine schnelle Anpassungszeit hatte und konstanter fraß. (Figur 11).

Es ist wichtig zu spezifizieren, dass der afrikanische Wels eine Zeit sehr schnellen Wachstums hatte, gefolgt von einer Stagnation der Wachstumsrate von November bis April des folgenden Jahres (Figure 12). Dies kann verschiedene Gründe haben, aber einer davon könnte der überwältigende Eintrag von Abwasser in den Bakterientank sein. In der ersten Phase des schnellen Wachstums fraßen die Fische gut und verdrängten daher viel Abfall. Sobald die nitrifizierenden Bakterien gegenüber den heterotrophen Bakterien an Boden verloren hatten (feste Abfälle, die sich im Bioreaktor ansammelten), verringerte sich die Wasserqualität und daher fraßen auch die Fische weniger und wuchsen weniger. An diesem Punkt sind wir der Ansicht, dass das System zu einem optimalen Stadium gelangt ist, indem Pflanzen und Fische mit einer sehr effizienten Nitrifikation mit einer guten Wachstumsrate wachsen.

5.3 Pflanzenzucht

Das Basilikum hatte eine sehr gute Keimrate und es dauerte in der Regel zwei Wochen ab der Aussaat, bis sich die wahren Blätter bildeten, als die Pflanzen in das System eingesetzt wurden. Von diesem Zeitpunkt bis zur Ernte waren 4 bis 5 Wochen erforderlich (Figure 13). Die Pflanzen wuchsen gut und zeigten zeitweise leichte Nährstoffmängel, insbesondere Mg. Dies liegt nicht unbedingt an der auf Fischabfällen basierenden Nährlösung, sondern am niedrigen pH-Wert (5), der sich aus dem Nitrifikationsprozess ergibt.

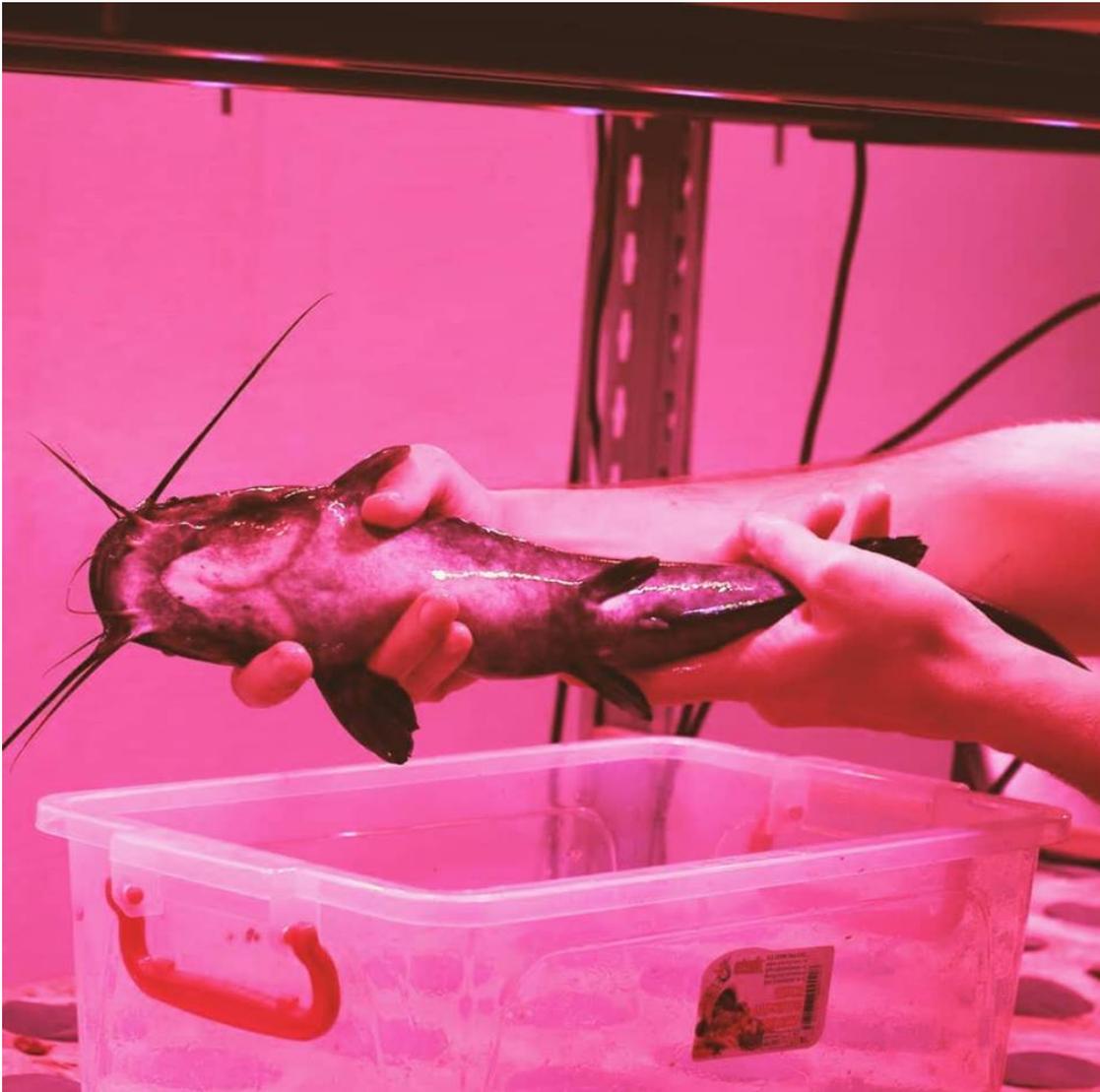


Abbildung 11: Analyse der Entwicklung von afrikanischen Wels

Obwohl die Nitrifikation im ersten Vegetationszyklus signifikant besser war, waren die morphologischen Merkmale der Pflanzen tatsächlich ähnlich. Im zweiten Vegetationszyklus wurden die Pflanzen zweimal mit einem Zeitunterschied von 1 Monat geerntet. Zu beiden Zeitpunkten waren die Pflanzenhöhe und die Wurzellänge ähnlich. Der interessante Teil betrifft den dritten Vegetationszyklus, bei dem die Optimierung des Systems zu einer verbesserten Nitrifikation führte, die jedoch zu erheblich kleineren Pflanzen führte. Die Wurzellänge für den dritten Fall war ebenfalls viel kürzer, was auch am nährstoffreichen Wasser liegen kann. In diesem

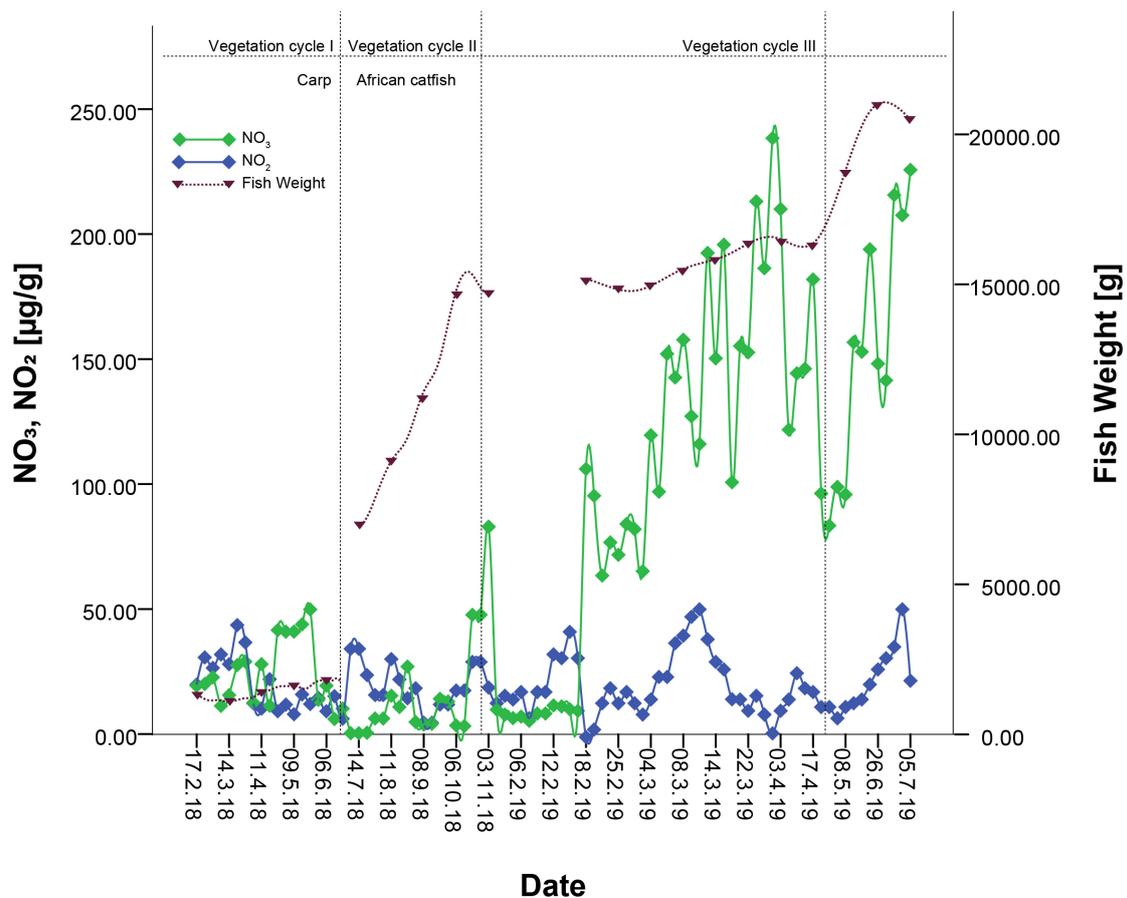


Abbildung 12: NO_3 and NO_2 und Gewichts Dynamik während der drei Vegetationszyklen

Fall müssten die Wurzeln nicht so viel entwickeln, um auf die Nährstoffe zuzugreifen, wie die Pflanzen benötigen, wenn weniger Nährstoffe verfügbar sind.

Der SPAD-Koeffizient korreliert mit der photosynthetischen Aktivität der Pflanzen. Die Ergebnisse zeigten, dass es keine signifikanten Unterschiede gab, aber im Fall des dritten Vegetationszyklus war der SPAD-Koeffizient der Pflanzen im Durchschnitt höher.

In Bezug auf die Biomasse der Pflanzen zeigten die in der Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse, dass die ersten beiden Vegetationszyklen die niedrigste Frischmasse aufwiesen, die signifikant niedriger war als der dritte Vegetationszyklus, der fast doppelt so groß war, obwohl die Pflanzen, wie erwähnt, dies nicht waren höher. Die Trockenmasse zeigte die gleichen signifikanten Unterschiede zwischen allen drei Vegetationszyklen, wobei die erste und die zweite die niedrigste Trockenmasse und die dritte die höchste Trockenmasse waren. Die zweite Ernte hatte signifikant



Abbildung 13: der Basilikum vor dem Erntezeitpunkt

mehr Masse als der erste Vegetationszyklus und die erste Stufe im zweiten Vegetationszyklus, und dies ist auf die Verholzung des Stammes nach der ersten Ernte zurückzuführen.

5.3.1 Bioaktive Substanzen

Der Ertrag der Pflanzen ist sehr wichtig, um die Effizienz des Anbausystems zu bestimmen, aber die Qualität kann ein ganz anderes Muster haben. Da sich dieses

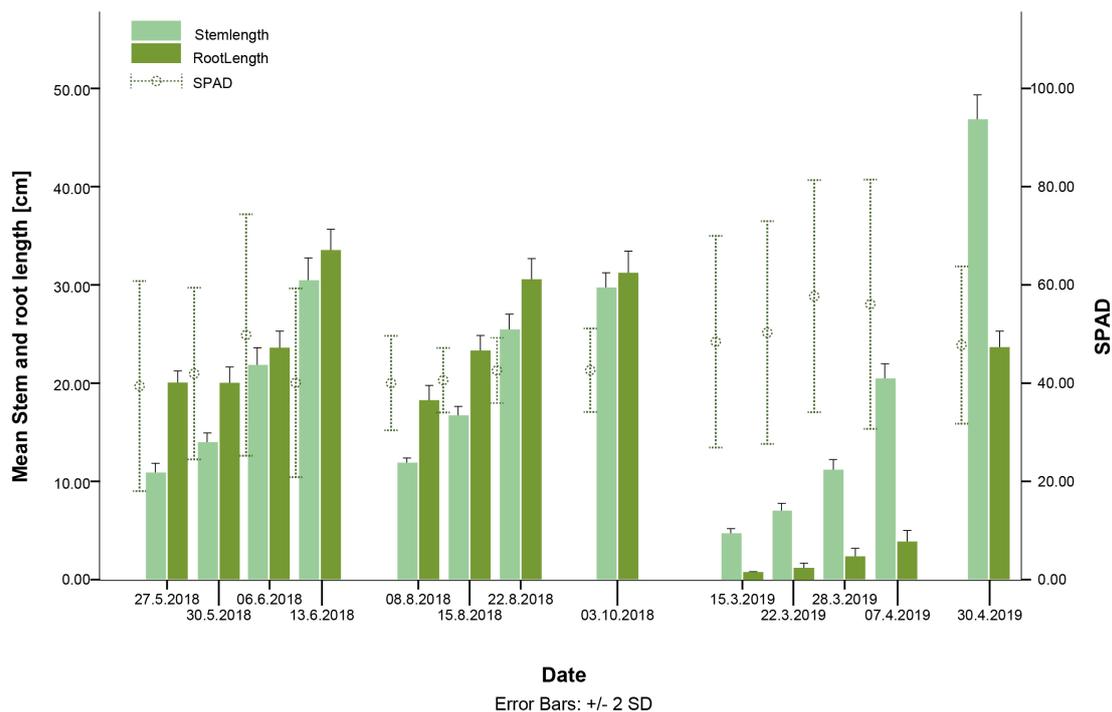


Abbildung 14: Stamm- und Wurzellänge des Basilikums in drei Versuchen

Erntedatum	Juni 2018[g]	August 2018[g]	Oktober 2018[g]	April 2019[g]
FrISChe Biomasse	25.13±13.85 ^b	10.29±1.89 ^a	31.08±12.72 ^b	87.93±30.19 ^c
Trockene Biomasse	1.75±0.97 ^a	1.16±0.23 ^a	2.99±1.34 ^b	8.73±3.74 ^c

Tablle 1: FrISChe und trockene Masse des nach jeder Kulturzeit geernteten Basilikums; Oktober 2018 ist die zweite Ernte nach der ersten Ernte im August 2018; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten einen signifikanten Unterschied $p < 0.01$;

Projekt auf die Verbesserung der Pflanzenqualität und das Verständnis der Prozesse zur Anreicherung bioaktiver Substanzen vom Saatgut bis zur Ernte konzentrierte, wurden einige interessante Ergebnisse hervorgehoben.

In der Tabelle 2 sind die Ergebnisse wiedergegeben, aus denen hervorgeht, dass der Ertrag nicht mit der Nährstoffdichte der Pflanzen korreliert. Im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Ergebnissen zur Biomasse der Pflanzen wiesen der Vegetationszyklus eins und zwei insgesamt mehr Vitamin C (Acid ascorbic) auf, deutlich mehr als die im dritten Versuch gezüchteten Pflanzen. Das gesamte Acid ascorbic, das das Acid ascorbic mit dem sauren Dehydroascorbin kombiniert, zeigte,

dass die höchste Konzentration im ersten Vegetationszyklus für das mit Karpfen gewachsene Basilikum signifikant höher war als im ersten Vegetationszyklus für afrikanischen Wels bzw. im zweiten Vegetationszyklus und am wenigsten die Konzentration wurde in den im letzten Versuch gezüchteten Pflanzen gefunden. Obwohl der afrikanische Wels aufgrund der Fischtentwicklung und des Pflanzenwachstums ein besserer Kandidat für das System war, zeigten die Ergebnisse, dass die Pflanzen im ersten Experiment mit den Nährstoffen aus Karpfen eine höhere Vitamin C-Qualität aufwiesen. Die Anreicherung bioaktiver Substanzen ist meist mit Stressfaktoren verbunden, weshalb ein optimaleres Pflanzenwachstum zu einer geringeren Konzentration der Metaboliten führen könnte. In der Aquaponik ist auch die Tatsache bekannt, dass der Züchter eine Ernte vor der anderen priorisieren sollte und niemals den höchsten Ertrag an Pflanzen zusammen mit den höchsten Erträgen an Fisch erzielen kann. Die Kombination mit Karpfen hatte daher die Pflanzen als Hauptkultur und die zweite Kombination mit afrikanischem Wels die letztere als Hauptkultur, was auch der Grund für die beobachteten Unterschiede sein könnte.

Die Gesamt-Carotinoide hatten geringfügig unterschiedliche Ergebnisse, da die höchste Konzentration im zweiten Vegetationszyklus bzw. im ersten mit afrikanischem Wels, gefolgt vom letzten Vegetationszyklus und mit der niedrigsten Konzentration im ersten Vegetationszyklus bzw. im kultivierten Basilikum gefunden wurde mit dem Karpfen. Diese Ergebnisse zeigen auch, dass sich verschiedene bioaktive Substanzen mit unterschiedlichen Raten ansammeln und von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst werden, was die Komplexität der Bestimmung zeigt, welches Protokoll zur Verbesserung der Pflanzenqualität am besten geeignet ist. Es ist wichtig zu erwähnen, dass diese Ergebnisse hauptsächlich durch Lutein und Zeaxantin beeinflusst werden, was den zuvor beschriebenen Unterschieden entspricht, aber die Carotinoide zeigten einen etwas anderen Trend; Der zweite Vegetationszyklus wies nach wie vor die höchste Konzentration auf, die beiden anderen Vegetationszyklen unterschieden sich jedoch nicht signifikant.

Bei Phenolen konnten nur die letzten beiden Vegetationszyklen analysiert werden, da die für die erste geernteten Sonden für genaue Ergebnisse zu wenig waren. Wie bei den Carotinoiden war die höhere Konzentration bei den Pflanzen des zweiten Vegetationszyklus signifikant höher als bei den Pflanzen des dritten Vegetationszyklus. Dies war für alle Metaboliten, Kaffeesäure, Chicorsäure, Zimtsäurederivate und Rosmarinsäure gleich.

Im ersten Vegetationszyklus wurden die Pflanzen auch in Bezug auf die Lichtintensität untersucht, um festzustellen, wie die bioaktiven Substanzen durch zwei verschiedene Regime beeinflusst werden, wobei das Tablett I die doppelte Intensität ($350 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) im Vergleich zum Tablett aufwies II ($120 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Überraschenderweise waren zwar im Mittel die Pflanzen unter höherer Lichtintensität

Bioaktive Substanzen	Vegetationszyklus I	Vegetationszyklus II	Vegetationszyklus III
Acid Ascorbic [$\mu\text{g/g}$]	288.94 \pm 15.01 ^a	264.35 \pm 40.71 ^a	168.55 \pm 16.73 ^b
Acid Dehydroascorbic [$\mu\text{g/g}$]	371.24 \pm 18.32 ^b	302.96 \pm 7.89 ^a	294.11 \pm 32 ^a
GESAMT Acid Ascorbic [$\mu\text{g/g}$]	660.18 \pm 22.84 ^c	567.31 \pm 48.28 ^b	462.66 \pm 36.86 ^a
Lutein [$\mu\text{g/g}$]	108.01 \pm 8.46 ^c	136.33 \pm 6.07 ^a	119.29 \pm 6.16 ^b
Zeaxantine [$\mu\text{g/g}$]	104.09 \pm 8.44 ^c	145.09 \pm 10.78 ^a	126.95 \pm 9.68 ^b
beta-Carotenoids [$\mu\text{g/g}$]	182.86 \pm 23.19 ^a	232.14 \pm 11.93 ^b	203.12 \pm 11.59 ^a
GESAMT Carotenoids [$\mu\text{g/g}$]	394.96 \pm 38.81 ^a	513.57 \pm 27.12 ^c	449.38 \pm 26.15 ^b
Caffeic Acid [$\mu\text{g/g}$]	NA	15.62 \pm 14.82 ^a	2.37 \pm 1.52 ^b
Chicoric Acid [$\mu\text{g/g}$]	NA	61.57 \pm 46.26 ^a	26.73 \pm 16.91 ^a
Cinnamic Acid Derivative [$\mu\text{g/g}$]	NA	8.78 \pm 5.52 ^a	4.52 \pm 1.94 ^b
Rosmarinic Acid [$\mu\text{g/g}$]	NA	20.19 \pm 10.66 ^a	6.76 \pm 2.81 ^b
GESAMT Phenolics [$\mu\text{g/g}$]	NA	106.17 \pm 56.36 ^a	40.41 \pm 17.26 ^b

Tabelle 2: Bioaktive Substanzen in drei Vegetationszyklen; die Zahlen stellen die Mittelwerte der wöchentlich während des Vegetationszyklus entnommenen Proben dar; Unterschiedliche Buchstaben bedeuten einen signifikanten Unterschied in der alphabetischen Reihenfolge von niedrig nach hoch; $p < 0.05$;

Bioaktive Substanzen	Tablett I	Tablett II
Acid Ascorbic [$\mu\text{g/g}$]	287.24 \pm 12.99	290.64 \pm 18.69
Acid Dehydroascorbic [$\mu\text{g/g}$]	365.16 \pm 25.86	377.31 \pm 4.08
GESAMT Acid Ascorbic [$\mu\text{g/g}$]	652.40 \pm 26.63	667.95 \pm 18.62
Lutein [$\mu\text{g/g}$]	110.97 \pm 6.29	105.04 \pm 10.21
Zeaxantine [$\mu\text{g/g}$]	109.26 \pm 4.05	98.91 \pm 8.86
beta-Carotenoids [$\mu\text{g/g}$]	192.10 \pm 22.73	173.62 \pm 22.59
GESAMT Carotenoids [$\mu\text{g/g}$]	412.33 \pm 32.07	377.58 \pm 40.99

Tabelle 3: Bioaktive Substanzen von Basilikum in zwei verschiedenen Lichtregimen; Beim unabhängigen t -test wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt

stärker in Ascorbinsäure und weniger Carotinoiden konzentriert als die Pflanzen in der Schale II, die Unterschiede waren jedoch sehr gering, nicht statistisch signifikant. Dies zeigt, dass die Lichtintensität gesenkt und die Qualität der Pflanzen nicht beeinflusst werden kann, wodurch der Energieverbrauch gesenkt werden kann.

Die bioaktiven Substanzen wurden als Summe der Mehrfachernten während des gesamten Vegetationszyklus diskutiert. Diese Mehrfachanalyse zeigte die Dynamik der bioaktiven Substanzen vom Samen bis zur Ernte. Für das Ascorbinsäure zeigten die Trends ein Maximum, das in der zweiten bis dritten Woche erreicht wurde und sich dann bis zum Erntezeitpunkt verschlechterte. Dies zeigt, dass, wenn das Ziel mehr Vitamin C pro Masse Basilikum sein soll, die Ernte in der Mitte des optimalen

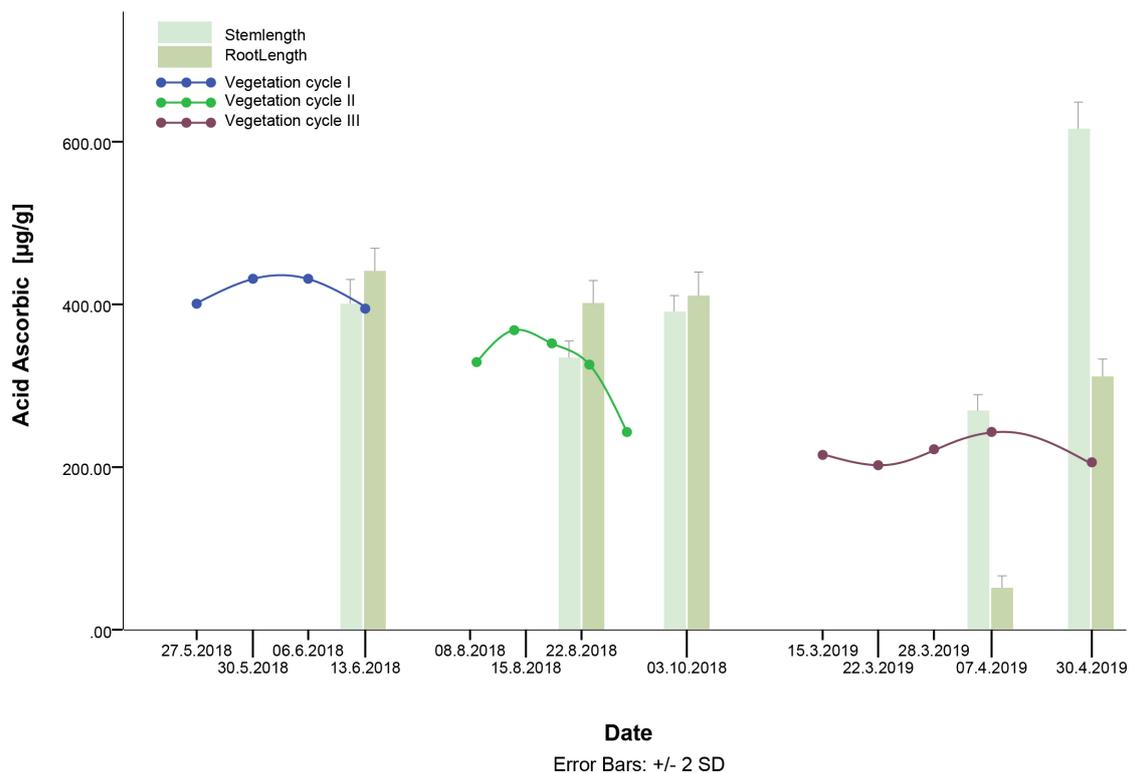


Abbildung 15: Ascorbinsäure Dynamik von der Aussaat bis zur Ernte bei drei Vegetationszyklen von Basilikum

Erntezyklus erfolgen sollte. Die Trends ähneln den in der Figur 15 gezeigten drei Vegetationszyklen. Es ist zu erkennen, dass der Bereich von der ersten bis zur letzten Analyse nicht sehr bedeutend ist, da die drei Vegetationszyklen die Unterschiede in allen Phasen des Pflanzenwachstums beibehalten.

Es war interessant zu beobachten, dass die Trends bei den Carotinoiden allen drei Vegetationszyklen sehr ähnlich waren. Die höchste Konzentration war in der zweiten Woche in allen Fällen, in denen die Konzentration am Ende des Zyklus abnahm und sich bis zur Ernte auf diesem Niveau stabilisierte. Diese Metaboliten scheinen am stabilsten zu sein und könnten weiter untersucht werden, um die Daten für die Modellierung der Akkumulation der bioaktiven Substanzen zu verwenden.

Schließlich zeigten die Phenole der letzten beiden Vegetationszyklen die dynamischsten und am schwierigsten vorherzusagenden Trends. Die beiden Experimente zeigten Peaks in der Mitte des Vegetationszyklus, aber der erste Anbau von Basilikum mit afrikanischen Wels zeigte eine sehr hohe Bandbreite der Metaboliten während des Vegetationszyklus. Es war auch interessant zu beobachten, dass die Metaboliten nach der ersten Erntezeit wieder eine höhere Konzentration gegen-

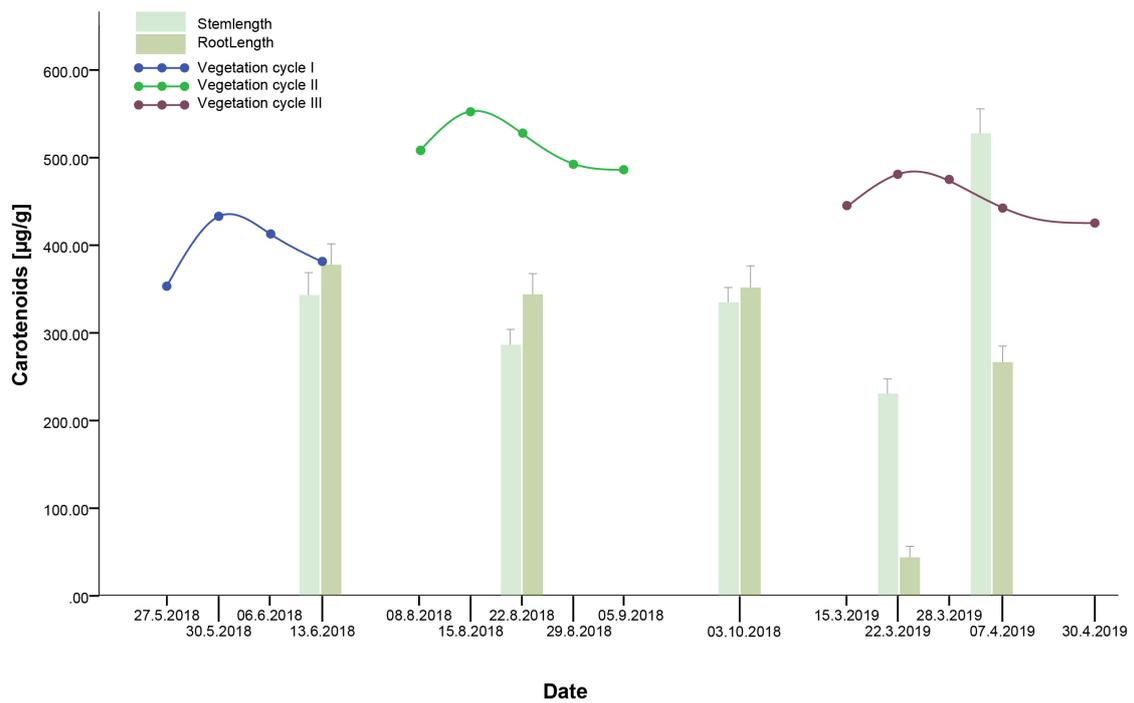


Abbildung 16: Carotinoide dynamisch vom Samen bis zur Ernte, auf drei Vegetationszyklen von Basilikum

über der zweiten Erntezeit aufwiesen. Das letzte Experiment hat gezeigt, dass der Trend die höchste Konzentration in der Mitte des Vegetationszyklus mit einer Glockenkurve bestätigt, die die Dynamik zeigt.

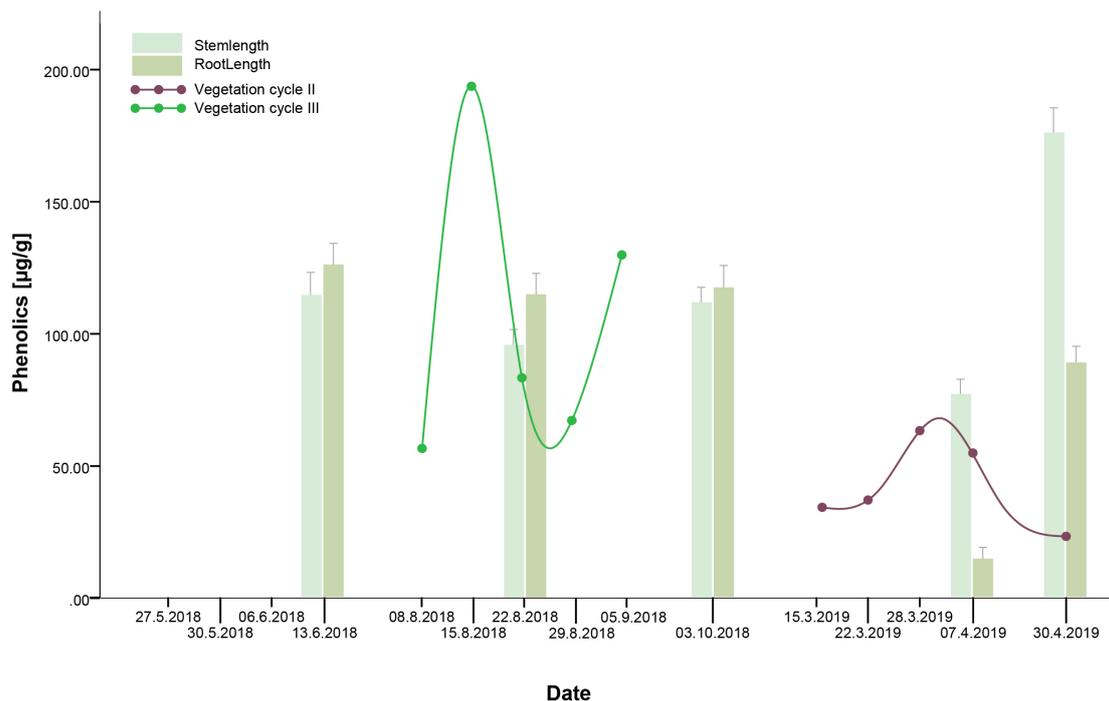


Abbildung 17: Dynamik der Phenole von der Aussaat bis zur Ernte auf zwei Vegetationszyklen von Basilikum

6 Wirtschaftliche Nachhaltigkeitsberechnungen

Obwohl sich das Projekt auf angewandte Forschung und die Schaffung von Wissen konzentrierte, stand das Team in Kontakt mit verschiedenen Landwirten und Praktikern, die solche Systeme für den Anbau von Nahrungsmitteln implementieren wollten. Die Effizienz und ökologische Nachhaltigkeit wurden in dem Projekt angesprochen. Um jedoch zu sehen, wie sich solche Systeme auf den aktuellen Märkten auswirken würden, führte das Team eine Reihe von Berechnungen durch, um die wirtschaftliche Nachhaltigkeit der Lebensmittelproduktion in Städten anhand von Ökosystem-Lebensmittelsystemen zu bewerten.

In der Tabelle 4 sind die Parameter für den aktuellen Aufbau und die Kosten für den Betrieb des Systems beschrieben. Das umgewälzte aquaponische System spart viel Wasser, sodass der Wasserverbrauch im Vergleich zu anderen Faktoren wie Energieverbrauch und Arbeitsaufwand sehr niedrig ist. Alle Kosten entsprechen dem Markt in Rumänien, und der Verkaufspreis der Anlage basiert auf dem Einzelhandelspreis im Vergleich zu den aktuellen Marktpreisen.

In der Tabelle (Table 5) werden die Kosten und Einnahmen für einen Monat basierend auf den operativen Aktivitäten berechnet. So sind die Anschaffungskosten

Parameter	Wert
Anbaufläche [m ²]	3
Pflanzen [no.]	300
Pflanzen m ⁻²	100
Energiekosten [kW h ⁻¹]	0.46 RON
Energieverbrauch [kW day ⁻¹]	52.53
Energieverbrauch [kW m ⁻²]	17.51
Wasserkosten [RON m ⁻³]	3.64
Wasserverbrauch [m ³ day ⁻¹]	0.03
Wasserverbrauch [m ³ m ⁻²]	0.01
Miete [RON month ⁻¹]	700

Tabelle 4: Parameter für die Marktanalyse des Aquaponics-Systems

für Geräte ausgeschlossen. Für die Arbeit werden zwei Personen mit einem Nettogehalt von 4000 RON berechnet. Dies wurde gemacht, um den aktuellen Status zu präsentieren. Das Projekt hatte Forschungsziele, sodass für einen tatsächlichen Betrieb weniger Personal benötigt wird, da das System stark automatisiert ist. Es ist also ersichtlich, dass die monatlich höchsten Kosten die Arbeitskraft sind, gefolgt vom Energieverbrauch und der Miete. Die Einnahmen wären sehr begrenzt, da nur 300 Pflanzen monatlich produziert würden. Dies würde zu einem Defizit von 12410,65 RON pro Monat führen. es ist offensichtlich nicht wirtschaftlich nachhaltig.

Kategorie	Kosten	Einnahmen
Pflanzen (Samen, jeweilige Ernte)	3	3000
Energieverbrauch	725.01	0
Wasserverbrauch	3.64	0
Arbeit	13980	0
Miete	700	0
GESAMT	15410.65	3000
Balance		-12410.65

Tabelle 5: Gleichgewicht der Marktchancen für das aquaponische System als Scale-up, 25 m², 300 Pflanzen kultiviert; Die Berechnung erfolgt monatlich. Preise sind in lokaler Währung, RON; geschätzte Kosten pro verkaufter Pflanze im Einzelhandel;

In der Tabelle 6 wurde eine Leiterversion anhand der Informationen des aktuellen Setups berechnet. Die wichtigste Änderung bestand darin, dass nur ein Mitarbeiter angestellt war, da das System stark automatisiert ist und für betriebliche Zwecke keine zwei Personen benötigt werden. Die Waage wurde auf 25 m² vergrößert und 150 Pflanzen m⁻² wurden berechnet, da der aktuelle Aufbau nicht die maximale Dichte aufweist, die er basierend auf den Ergebnissen bezüglich Nährstoffen und Platzverfügbarkeit aushalten kann. Dies würde einen Umsatz von 9375 RON monatlich erzeugen, was einen Gewinn von 1009,77 RON monatlich ergibt. Die Zahlen mögen nicht sehr vielversprechend erscheinen, aber angesichts des geringen Arbeitsaufwands (weniger als 4 Stunden pro Woche) kann davon ausgegangen werden, dass Mikro-Stadt-Farmen Junglandwirten dabei helfen könnten, ein Unternehmen zu erhalten und frische, nachhaltige Lebensmittelprodukte für die lokalen Märkte zu entwickeln. Darüber hinaus würde eine Fortsetzung der Entwicklung dieser Ökosystem-Lebensmittelproduktion eine bessere Vorhersehbarkeit und Optimierung ermöglichen, und der Einsatz von Technologie würde die Rentabilitätsmargen weiter verbessern, indem weniger Arbeitskräfte eingesetzt, die Qualität und der Ertrag der Produktion erhöht und Wert aus den gegenwärtigen Abfallströmen geschaffen werden.

Table 7. Rentabilitätsanalyse für Scale-up; 25 m², 150 Pflanzen m⁻²		
Kategorie	Kosten	Einnahmen
Pflanzen (Samen, jeweilige Ernte)	3	9375
Energieverbrauch	3020.09	0
Wasserverbrauch	30.33	0
Arbeit	3486	0
Miete	700	0
Substrat	1125	0
GESAMT	8365.22	9735
Balance		1009.77

Tabelle 6: Gleichgewicht der Marktchancen für das aquaponische System als tatsächliche Skala, 3 m², 300 Pflanzen kultiviert; Die Berechnung erfolgt monatlich. Preise sind in lokaler Währung, RON; geschätzte Kosten pro verkaufter Pflanze im Einzelhandel;

7 Reichweite und Kommunikation

Neben den in diesem Bericht vorgestellten Forschungsaktivitäten zielte das Team darauf ab, eine Gemeinschaft von gleichgesinnten Menschen zu schaffen, die mit relevanten Parteien auf internationaler Ebene zusammenarbeitet und die Studenten und jungen Fachkräfte vor Ort einbezieht.

Nach dem ersten Statusseminar im September 2017 besuchten die Forscher in Neubrandenburg eine Reihe von Unternehmen, die auf diesem Gebiet tätig sind. Unter anderem Infarm, ECF Farming, Urban Farm Solutions von Z-Blocks (Deutschland) und Urban Smart Farms (Belgien).

Die Forscher nahmen auch an einer Reihe von Konferenzen und Workshops als Teilnehmer teil und präsentierten die Ergebnisse oder luden Referenten ein:

- Plant Control by LED Light, Wageningen University, The Netherlands, October 2017 - participants
- Smart Farming World Summit, Moscow, Russia, November 2017 - invited speakers
- Vertical Farming Workshop with Zjef van Acker (Belgium), Cluj-Napoca, Romania, January, 2018, organisers
- Start-up Weekend Cluj - Cluj- napoca, Romania, January 2018, invited speakers
- MELiSSA Workshop, Rome, Italy, April 2018, oral presentation
- Groie Nest a. Frienden Urban Farming Festival, Ghent, Belgium, May 2018, invited speakers
- Border Sessions – High tech low tech food, The Hague, The Netherlands, June 2018, invited speaker
- Circular Economy Summer School, Malaga, Spain, July 2018, invited speaker
- Novel Farms, Pordenone, Italy, February 2019, oral presentation

Während der Forschungsaktivitäten stand das Labor offen, um Gruppen von Studenten und Enthusiasten zum Erlernen der aquaponischen Lebensmittelproduktion einzuladen. Es wurden sogar einige Freiwillige hinzugezogen, die bei der Durchführung von Forschungsexperimenten mithalfen. Es wurde nachgewiesen, dass das Potenzial für die Fortsetzung der Aktivitäten auf dem jeweiligen Gebiet der nachhaltigen Lebensmittelproduktion beachtlich ist, und dieses erste Forschungsprojekt könnte dazu führen, dass der Weg zu intelligenten, nachhaltigen Ökosystemen für die Lebensmittelproduktion in den Städten fortgesetzt wird.

8 Schlussfolgerungen

Das zweijährige Forschungsprojekt zur Automatisierung des aquaponischen Systems hat das immense Potenzial der Nahrungsmittelproduktion des Ökosystems auf die Oberfläche getrieben. Es wurde gezeigt, wie wichtig die Daten für das Verständnis der komplexen Abhängigkeiten des Systems sind und dass Algorithmen für maschinelles Lernen erforderlich sind, um die immensen Datensätze in Echtzeit zu verstehen.

Es gab zwei gleich wichtige Kategorien, die kontrolliert und sorgfältig entworfen werden mussten, um ein nachhaltiges aquaponisches System für die Lebensmittelproduktion zu schaffen.

Das erste ist das **technische Design** und das zweite das **biologische Design**. Der erste bezieht sich auf die im aquaponis-System verwendete Hard- und Software. Dies kann auch in Bauelemente und Sensorsysteme eingeteilt werden. Die Konstruktion bezieht sich auf alle für das System erforderlichen Geräte wie Pumpen, Tanks, Lampen usw. Das Sensorsystem bezieht sich auf alle Sensoren und Aktoren, die zur Datenerfassung verwendet werden. Auch hier spielt die Software eine Rolle, um die Daten in Echtzeit zu visualisieren und das System zu warten und zu steuern.

Das technische System muss genau auf die biologischen Materialien abgestimmt sein. Dies bedeutet, dass verschiedene Fisch- und Pflanzenarten leicht unterschiedliche Bedingungen erfordern und die technischen Materialien eine gute gemeinsame Kultivierung von Fischen und Pflanzen ermöglichen sollten. Der Bioreaktor, in dem die nitrifizierenden Bakterien Nitrit in Nitrat umwandeln, ist ein weiteres Element, das eine komplexe Kombination von technischen Merkmalen wie Luftpumpe, Sensoren, Sauerstoffzufuhrsystem usw. und biologischem Material in der Bakterienpopulation darstellt.

Alle diese Elemente müssen entsprechend dem Ziel des Landwirts identifiziert und gestaltet werden. Gleichzeitig benötigen diese Systeme mehr Daten und Forschung, um in der Lage zu sein, Standards und Modelle zu erstellen, die den Herstellern helfen, technologischere Werkzeuge zu entwickeln, um die komplexe dynamische Interaktion in der Lebensmittelproduktion des Ökosystems zu erleichtern.

Zusätzlich zu den vorgesehenen Umweltlösungen wurde nachgewiesen, dass die Systeme auch im kleinen Maßstab rentabel werden können, wenn sie in einem städtischen Wohngebäude untergebracht werden.

Neben der Laboranalyse auf Parameter wie Nitrat, Nitrit, Bakterienpopulationen, bioaktive Substanzen der Pflanzen, Pflanzen- und Fischentwicklung müssen weitere Forschungsarbeiten durchgeführt werden, insbesondere zur Erfassung weiterer Daten in Echtzeit. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der mehr Präzision und Know-how erfordert, ist das Fütterungsverhalten. Durch die Steuerung einer Echtzeit-Fütterung wird die überschüssige Abfallerzeugung beseitigt und die gesamte Nitrifikation ausgeglichen, wodurch ein vorhersehbarer Ertrag erzielt wird. Daher könnten

Daten- und künstliche Intelligenzsysteme dazu beitragen, die Lebensmittelproduktionssysteme dieses Ökosystems exponentiell zu verbessern und ein nachhaltiges und wirtschaftliches Lebensmittelsystem im städtischen Umfeld zu schaffen.

Literatur

- [1] Olakunle Elijah u. a. “An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges”. In: *IEEE Internet of Things Journal* 5.5 (2018), S. 3758–3773.
- [2] Redmond R Shamshiri u. a. “Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture”. In: (2018).
- [3] UN. *Sustainable Development Goals*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. 2015.



PlantGeek

Jahresbericht

2017 - 2018



FKZ DBU: 33716/01-35

Automatisiertes Aquaponic-System zur nachhaltigen Erzeugung frischer Lebensmittel



UASVM Cluj-Napoca



Hochschule Neubrandenburg



DBU

1 EINFÜHRUNG	2
2 AUFGABENBEREICH UND ZIELE	3
3 MATERIALIEN UND METHODEN.....	4
3.1 Standort	4
3.2. Aufbau des Aquaponic Systems	4
3.3. Biologisches Material.....	5
3.4. Automatisierungssystem	5
3.4.1. Erste Phase- Aufbau der anfänglichen Lochrasterplatte	5
3.4.2. Phase 2 und 3 - Erlangen von zuverlässigen Daten - Lösung anderer Probleme des Automatisierungssystems	10
3.4.2. Phase 4 - Verstärkung der Zuverlässigkeit aller Sensorauslesungen, Datenerfassungen und Optimierung des Automatisierungssystems.....	19
3.4.3. Aktuelle Gestaltung der Automatisierung und Zustand der Sensoren	21
4. DIE VORLÄUFIGEN ERGEBNISSE UND DISKUSSIONEN.	22
4.1. Phase I - Goldfische und Spinat auf bodenhaltigem Kultursubstrat	22
4.3.3. Nährlösungen	27
4.4. Phase IV - Karpfen und Basilikum auf Steinwolle-Substrat 2	28
4.4.1. Pflanzenwachstum.....	28
4.4.2. Pflanzenqualität.....	31
4.4.3. Nährlösungen	33
4.4.4. Fischwachstum	38
5. KOMMUNIKATION	39
5.1. Webseite und soziale Netzwerkeiten	40
5.2. Vorträge an Konferenzen und Tagungen, wo Projekte mit vergleichbaren Zielen und Fachleute aus demselben Bereich zusammenkommen	40
5.2.1. Geschäftsreise nach Deutschland und Belgien, September 2017.....	40
5.2.2. Plant Control by LED Light/LED-Beleuchtung für Pflanzenwachstumkontrolle-Symposium, Wageningen Universität und Forschung, Niederlande, Oktober, 2017	41
5.2.3. Smart Farming World Summit/Smart Farming Weltgipfelkonferenz, Moskau, Russland, November 2017	41
5.2.4. Weekend Start-Up Cluj-Napoca, Rumänien, Januar 2018	41
5.2.5. Workshop für vertikale Landwirtschaft mit Zjef van Acker (Belgien), Cluj-Napoca, Rumänien, Januar, 2018	41
5.2.6. MELiSSA Workshop, Rom, Italien, April 2018	42
5.2.7. Groie Nest a. Frienden Urban Farming Festival, Ghent, Belgien, Mai 2018	42
5.2.8. Border Sessions – High-Tech Low Tech Food/ Hochttechnologie Niedrigtechnologie- Nahrungsmittel, Den Haag, Niederlande, Juni, 2018	42
5.3. Schaffen einer Gemeinschaft mit gleichgesinnten Forschungsgruppen, Neugründungen und Initiativen	43
5.3.1. AMI Farm Lab.....	43
5.3.2. AstroPlant	43
5.3.4. CPH Dänemark, Farmee, Niederlande	43
6. NÄCHSTE SCHRITTE.....	44

1 Einführung

Zu den UN-Zielen in Bezug auf die nachhaltige Entwicklung (SDGs) gehören Null Hunger, industrielle Innovation und Infrastruktur sowie die nachhaltige Entwicklung von Städten und Gemeinden, die alle mit der Nahrungsmittelproduktion und der urbanen Landwirtschaft (UF) verknüpft werden können.

Die Landwirtschaft nutzt bereits rund 11 % der gesamten Gesamtlandfläche und der Bedarf an Lebensmitteln wächst, während die Ackerflächen immer knapper werden. (Arable Land, FAO, 2017). Der Klimawandel zwingen die Bauern, Mittel zu dem Umgang mit der Unvorhersehbarkeit des Wetters und den für ihre Gesamterträge katastrophalen Witterungen zu finden. Andererseits, gibt es auch eine zunehmende Denkweise zur Förderung der Landwirtschaft unter kontrollierten Umgebungsbedingungen (CEA) für die Produktion von Nahrungsmitteln. Die CEA-Strategien können unabhängig vom Klima sein, können in den Städten umgesetzt werden, und sichern einheitliche Pflanzenerträge. Der Nachteil ist der hohe Energieverbrauch und die begrenzte Anwendbarkeit der Technologie in weniger entwickelten Ländern (Banerjee, 2014).

In kontrollierten Umgebungsbedingungen, können die Faktoren, die die Pflanzen beeinflussen, genau überwacht werden und dadurch kann die angewandte Technologie als Mittel zur Verbesserung der Erträge und der Pflanzenqualität dienen. Die Pflanzen sind aber sehr komplex und reagieren auf eine hohe Anzahl von möglichen Variablen, wie Lichtspektrum und Helligkeit, die Nährlösungen in allen seinen Formen, CO₂, Temperatur, Feuchtigkeit, Schädlingen, Krankheiten usw. (Nguyen, 2016). Diese komplexen Interaktionen innerhalb der Anpflanzungssysteme veranlassen die Wissenschaftler und Ingenieure zusammen zu arbeiten, um Brücken zwischen der Pflanzenwissenschaft und der Technologie zur Verbesserung der Lebensmittelproduktion zu bauen.

Gleichzeitig, benützen wir die Landwirtschaft unter kontrollierten Umgebungsbedingungen als Basis zum Erlangen von vertieften Informationen zur Funktionsweise der Ökosysteme, die nachher, mittels der Technologie, in die aktuellen Anbausystemen eingegliedert werden. Dadurch wird eine Verbesserung der Ernte und der Qualität der Pflanzen eingeleitet, wobei Wert aus Abfall erzielt wird.

Die Einschränkungen der CEA und der vertikalen Landwirtschaft (gestapelte Anbauebenen in kontrollierter Umgebung zur Verbesserung der Anbauflächen) oder jeglicher anderen intensiven Anbauvarianten ergeben sich hauptsächlich aus der mangelnden Vielfalt der Anbaupflanzen, da Bauern, in ihrem Trachten nach höheren Erträgen es vorziehen, eine geringe Anzahl von Arten anzubauen (Horton, 2017). Die Kenntnis des Pflanzenverhaltens wächst zwar, aber man kann sie nicht generell für alle Arten von Kulturpflanzen anwenden. Das ist der Grund dafür, warum man mehr Daten über alle beteiligten Parameter einsammeln muss. Normalerweise wird eine begrenzte Anzahl von Sensoren installiert, die nur die wichtigsten Parameter innerhalb generell bekannten Grenzen aufnehmen. Zu Forschungszwecken werden mehrere Sensoren eingesetzt, die umfangreiche Datensätze erstellen, so dass das Know-how zum Pflanzenanbau sich exponentiell verbessert, was zu einer Entwicklung der CEA-Praktiken führen kann.

Neue Technologien wie das IoT tragen zu dem Übergang zu einem autonomeren Anbau, weil sie, durch die Anwendung von AI und Machine Learning Systeme, zu einem kontinuierlichen Aufschwung der Lebensmittelproduktion führen werden (Wolfert, 2017). Die größten Hindernisse bei der Umsetzung solcher Anbausystemes sind Einschränkung der Kosten sowie die Zuverlässigkeit der kostengünstigen Sensoren und der Aufarbeitung sämtlicher Informationen, die zu Modellierung dieser Systeme dienen sollen. Die veröffentlichten Arbeiten in diesem Bereich konzentrieren sich im Allgemeinen nur auf einen der Aspekte der vollständigen Automatisierung und des Modellierungsframework, dabei bleiben aber wichtige Informationen unberücksichtigt, die einen besseren Überblick über die fortschrittlichen Entwicklungen liefern könnten (Aqeel-ur-Rehman, 2014).

2 Aufgabenbereich und Ziele

Das Forschungsprojekt zielt darauf hin, die Kluft zwischen Kenntnissen über den Pflanzenanbau und der verfügbaren Technologie zu überbrücken, um so Verbesserungen der Systeme der Nahrungsmittelproduktion einzuleiten. Wir haben uns auf die Verwendung von kostengünstigen Sensoren und Plattformen für die Automatisierung hauptsächlich aus zwei Gründen entschieden: wir bezweckten i) die Begrenzungen und Robustheit einer kostengünstige Automationslösung für den Pflanzenanbau und Forschung zu testen und ii) große Mengen von Daten aus so vielen Punkten wie möglich zu sammeln, die für den Erhalt einer klaren, umfassenden Perspektive sowohl auf die Indoor-Ökosystemen führen können, wie auch auf die Art und Weise, wie die Pflanzen von den Umweltfaktoren beeinflusst werden.

Unser Vorhaben war, mindestens 2 große Wiederholungszyklen laufen zu lassen, bei denen 2 Vegetationszyklen vom Besamung bis zur Ernte durchgeführt wurden. Dank der Messungen und Daten, die durch das System erfasst wurden, kam es zum Aufbau /zur Optimierung eines mathematischen Modells, welches schließlich zur Vorhersage von Erntequoten und von Pflanzenqualität beitragen kann und wird. Wenn das Modell von den nächsten Vegetationszyklen bestätigt wird, werden die Zusammenhänge schon in das Automationsystem implementiert worden sein. Das Ziel war ein selbstanpassungsfähiges, autonomes System zu entwickeln, das die Qualität der Pflanzen als wichtigster Indikator zur Steuerungen jeglicher Faktoren berücksichtigt.

Das zweite Ziel bezieht sich auf die Kluft in den wissenschaftlichen Bestrebungen zwischen den entwickelten Länder und den Entwicklungsländer, die auf die Unterschiede in der Forschungsinfrastruktur zurückzuführen sind. Unser Ziel war nachzuweisen, dass Kosten den hohen Standard der Forschung nicht beeinflussen. Das hier beschriebene System, auch wenn mit kostengünstige Materialien ausgerüstet, ermöglichte hochwertige Einblicke in die Pflanzenwissenschaft. Zusätzlich, die automatisierten Anbausysteme sind in der Regel durch festgestellten Schwellen gesteuert, die im System Start- und Stoppsignale anstoßen. Für die Zukunft der Nachhaltigkeit, wäre die Implementierung von datagesteuerten Automatisierungssystemen ein besserer Ansatz. Zur Zeit wissen wir von der Interaktionen zwischen verschiedenen Parametern wie Ammoniak, Temperatur und pH-Wert Bescheid, die eine starke Einwirkung auf die Prozesse im Wasser haben.(Yildiz, 2017). Abschließend, kann man hier Folgendes festhalten: würde die Erfassung der Daten in Echtzeit stattfinden, dann könnte man dieses System benutzen, um sie auszulesen und daran Anpassungen durchzuführen, aufgrund der Kenntnisse die vorher erfasst worden waren. Das System wird dadurch besser optimiert und wird den Weg zu der Einführung der Machine Learning Systemen in die Landwirtschaft legen.

3 Materialien und Methoden

3.1 Standort

Das Forschungsprojekt wurde an der Universität für Agrarwissenschaft und Tiermedizin Cluj-Napoca, Rumänien, an dem Institut für Lebenswissenschaften durchgeführt. Das Labor wurde im Keller des Instituts aufgebaut, sodass der Einfluss von der Außenwelt verhindert werden konnte. Die Lüftung und die Klimabedingungen wurden über ein am zentralen Lüftungssystem angeschlossenes mobiles AC System gesteuert. Die Anschaffung der Materialien und der Aufbau des Systems fand in der Zeitspanne Juli - September 2017 statt. Das Aquaponics-System und die Bewässerungsanlage wurden vom Projekt-Forscher-Team entwickelt und implementiert. Sobald das System funktionsfähig war, wurden die Fische hereingegeben und man begann mit der Überwachung der Nährlösung-Parameter.

3.2. Aufbau des Aquaponic Systems

Das System besteht aus 4 Wassertanks (3 mit 500l und der 4. mit 300l Fassungsvermögen) und 2 vertikal gestapelte Pflanzschalen (mit zirka 150 l Fassungsvermögen, 3 m lang, jede mit einstellbarem Wasserspiegel). Die Schalen wurden aus Holz gefertigt, und auf der Innenseite zwecks Wasserdichtigkeit mit Teichfolie beschichtet. Am hinteren Teil der Tanks baute man Entwässerungsanlagen zur Überwachung des Wasserspiegels während des gesamten Vegetationszyklusses ein. Die Bewässerungsanlage wurde aus 20“, an die Systempumpen angeschlossenen Kunststoffrohren gefertigt. LEDs wurden oberhalb jeder Pflanzschale installiert, wobei ein selbst gebautes System die Lichtstärke auf Grund der erwählten Pflanzhöhe steuerte. Alle beim Aufbau des Systems benötigten Komponenten wurden vor Ort angeschafft und das Projekt-Team führte die Fertigungs- und Bauarbeiten selber durch.

Der Nährstofffluss wird im Bild unten beschrieben: Aus dem Fischtank (2) wird das Wasser zuerst durch einen mechanischen Filter, das die Feststoffe zurückhält, und dann durch die biologischen, nitrifizierenden Bakterien beinhaltenden Filter gepumpt. Weiter wird das Wasser zu den beiden Pflanzschalen durch Pumpen befördert, wobei es dann infolge der Schwerkraft zur Entwässerungsanlage fließt und schließlich wird das Wasser zurück zum Fischtank gepumpt. Der Wasserfluss ist auf Grund von Wasserstand-Sensoren automatisiert. Darüber hinaus werden Wasser-Parameter, wie z.B., pH, elektrische Leitfähigkeit (EC), gelöster Sauerstoff (DO), sowie Temperatur- und Umwelt-Parameter , wie z.B., Temperatur, Feuchtigkeit und Lichtstärke, anhand des Sensorensystems in jedem Tank und in jeder Pflanzschale überwacht. Diese gesammelten Daten werden durch wöchentliche Messungen der Pflanzen (biometrische Daten und chemische Analysen), der Fische (Gewicht und Größe), sowie durch Ergebnisse der Laboranalysen der Nährlösung (Nitrite und Nitrate) ergänzt.

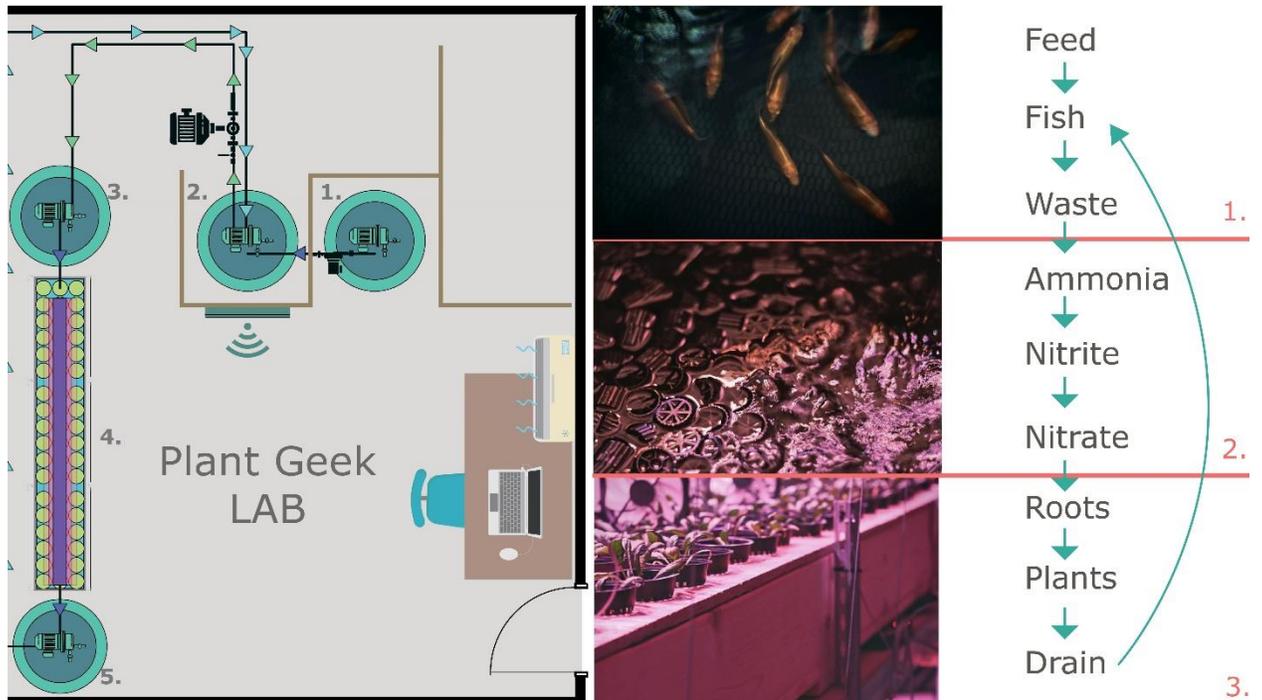


Abbildung 1 das Layout des Labors. 1. Sammeltank, 2. Fischtank, 3. Bioreaktor Nitrifikation, 4. Pflanzschalen, 5. Entwässerungsanlage

Parallel zum Aufbau des Systems, wurden die Sensoren angeschafft und außerhalb des Systems getestet und auch die Software wurde erstellt. Sobald sich all die Komponenten vor Ort an der Universität befanden und die entwickelten Sensoren getestet worden waren, begann das für die Automatisierung zuständige 3. Team sie ins System einzubauen. Häufige Optimierungs- und Fehlersuche-Eingriffe seitens des Forscherteams dienten dazu, dass die Erfassung von verlässlichen Daten und eine zweckmäßige Gestaltung der Automatisierung gewährleistet werden konnte.

3.3. Biologisches Material

Die Ziele des Forschungsprojekts bestanden darin, festzustellen, inwieweit wir mittels der Automatisierung und des dichten Sensorennetzwerks die Prozesse innerhalb des künstlichen Ökosystems besser verstehen können. Wir bezweckten, leicht zu pflegende Fischarten zu züchten, sowie leicht zu pflegende Pflanzen anzubauen, die nicht nur in solchen Systemen gut gedeihen, sondern auch einen hohen Nährwert haben. Die vier Phasen werden hier synthetisch beschrieben. Im Prinzip, wurden Goldfische und Karpfen zusammen mit Spinat, Salat und Basilikum gezüchtet.

3.4. Automatisierungssystem

3.4.1. Erste Phase- Aufbau der anfänglichen Lochrasterplatte

Ausgehend von den klar festgelegten Forschungszielen, wurde auf Grund des von uns entworfenen Schemas, mit Rücksicht auf die Kostenhöhe ein Automatisierungsmodell entwickelt. Dieses Modell erwies sich später als eine große Herausforderung für die Fehlersuche. Ein besseres Protokoll für die Implementierung wäre, Testen und Fehlersuche gleich nach der Verknüpfung jeder einzelnen Funktion

(Sensor, Pumpe, Lampe) an das System durchzuführen. Auf dieser Art und Weise können die verschiedenen Faktoren schneller identifiziert werden, die die Auslesungen und das Funktionieren des Systems beeinflussen könnten.

- Einzelprüfung der Sensoren, um festzustellen, ob alle voll funktionsfähig sind.
- Gestalten der SCADA-Schnittstelle
- Gestalten der Arduino-Software zum Auslesen aller Sensoren und zum Übertragen der Daten zum SCADA –System.
- Testen der Sensoren innerhalb des Systems
- Beheben der Auslesungsprobleme

Die Sensoren wurden von verschiedenen Lieferanten gekauft, sodass sie in Chargen geliefert wurden. Als Erstes haben wir jeden einzelnen Sensor geprüft, um festzustellen, ob alle funktionsfähig sind und ob die Datenauslesungen stimmen. Zu diesem Zweck haben wir unseren Arduino Mega verwendet und kleine Programme entwickelt, um die Sensoren zu testen und um festzustellen, ob die Auslesungen innerhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte bleiben. Die wasserdichten Temperatursensoren (DS18B20) haben je einen einmaligen 64-bit seriellen Code und während dieser Phase haben wir alle vier Sensoren angelegt, die wir in unserem System verwenden wollten. Darüber hinaus, wurden zwei Kommunikationsprotokolle (SPI und 12C) in die DO-EZO Sensoren eingebettet. Sie wurden so konfiguriert, dass sie 12C benutzen und jeder davon erhielt dieselbe einmalige Adresse, sodass sie alle auf derselben Busleitung benutzt werden können. Später erwies sich die Funktionsweise des 12C Protokolls als ein großes Problem.

Nachdem die physische Gestaltung der Anlagen beendet und die Platzierung aller Sensoren festgelegt worden war, begannen wir mit der Verkabelung aller Sensoren. Zu diesem Zweck benutzten wir CAT5EeUTP Kabel, das vom Arduino Mega zu den Einbauorten der einzelnen Sensoren führt. Wir erstellten auch eine farbige Entsprechungstabelle für jeden einzelnen farbigen Draht innerhalb des UTP Kabels, um eine Karte der Sensoren im System bereitzustellen.

Während dieser Phase nach der Verdrahtung jedes Sensors, wurde die Software zur Steuerung der Anlage neu angepasst, um den Sensor zu integrieren, so dass er die von ihm Daten ausliest und sie zum SCADA-System überträgt. Da wir noch in der Lochrasterplatte-Phase waren und um das Prototyping zu erleichtern, wurden alle Sensoren mit DuPont Draht (Drahtbrücken) mit dem Arduino verbunden.

in eingesteckt, aber es hat sich für die Entwicklung des Forschungsprojekts zweifellos ausgezahlt. In

Arten von Sensoren

Gelöster Sauerstoff

Um die gelöste Sauerstoffmenge in den Wasserbehältern und den Pflanzschalen zu messen, waren robuste Sonden von industrieller Qualität notwendig, solche die einwandfrei fristlos unter Wasser bleiben können, und nicht Laborsonden, die nach jeder Messung aus dem Tankwasser herausgenommen und in Aufbewahrungslösung versorgt werden müssen. Wir haben die Lösung von Atlas Scientific gewählt, in Form eines Kits https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/do_kit.html. Der Sensor kann über UART oder I2C kommunizieren. Wir haben uns für auf I2C entschieden, um ein Netzwerk von gelösten Sauerstoffsensoren zu schaffen. Die Steuerungseinheit (Arduino Mega) fragt jeden Sensor einzeln ab, liest die zur

Temperaturkompensation nötige Temperatur und errechnet auf dieser Art und Weise den gelösten Sauerstoffwert.

PH/EC-Leitfähigkeit

Für pH- und Leitfähigkeit-Messung, benutzten wir die EC/pH Umformer A1005, von [Http://webpages.charter.net/tdsmeter/products.html](http://webpages.charter.net/tdsmeter/products.html). Diese Umformer sind mit industriellen Sonden sowohl für pH als auch für Leitfähigkeit ausgestattet, so dass die Sonden unbefristet eingetaucht bleiben können. Die pH-Sonde misst von 0-14 und die EC-Sonde misst von 0 bis 5000 μS . Der Schaltkasten benötigt 12-V-DC-Input und liefert infolge des Erdanschlusses, gleichzeitig, 0-5V Ausgänge für jede einzelne Messungen ab. Aufgrund der Funktionsweise des ADCs in Arduino und der gemeinsamen Erdungsleitung, konnten wir die Leitfähigkeit und den pH-Wert nicht mit der gleichen Steuerungseinheit messen. Das Funktionsprinzip der EC-Sonde (Sendung von Mikroströmen ins Wasser um seinen Widerstand zu messen) führte dazu, dass bei der Einführung der EC- und pH-Sonde in den gleichen Wassertank, immer der pH-Wert 14 angezeigt wurde. Die Mikroströme der EC-Sonde stören die pH-Sonde. Um dieses Problem zu überwinden und die Leitfähigkeit in unserem System messen zu können, haben wir zwei EC-Sonden, je eine pro Pflanzschale eingelegt. Da der Abstand zwischen der EC-Sonde und der pH-Sonde 2.5 m beträgt, können die Mikroströme die pH-Sonde nicht erreichen und so wird die Messung von pH und Leitfähigkeit in der gleichen Pflanzschale ermöglicht.

Dabei haben wir noch bemerkt, dass die pH-Werte stark schwanken, wenn die Pumpe im Wasserbehälter lief. Wir mussten auch zu der Schlussfolgerung kommen, dass die Leitfähigkeitswerte stark durch die LED-Leuchten beeinflusst werden. Wenn die LED-Dioden brennen, steigen die EC-Werte um etwa 0.2 mS.

Wassertempertursensor

Um die Temperatur des Wassers im System zu überwachen, haben wir uns für den DS18 B20 wasserdichten Temperatursensor entschieden. Da dieser ein digitaler Sensor ist, wird er nicht von Spannungsinterferenzen beeinflusst. Er verwendet das 1Wire (one Wire) Protokoll und jeder Sensor hat seine eigene Adresse. Wir haben jeden einzelnen Sensor getestet und die Adresse aus deren Speicher gelesen. Dann haben wir eine Adressenzuordnung der Wassertemperatur-Sensoren erstellt, um zu wissen welcher Sensor zum welchen Behälter gehört. Diese Sensoren dienen nicht nur zur Überwachung der Wassertemperatur, sondern sie werden auch zur Temperaturkompensations-Errechnung der Sauerstoffmessungen verwendet.

Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit

Um eine vollständig kontrollierte Umgebung zu haben, war es notwendig, auch die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit im Labor zu messen. Zu diesem Zweck, haben wir uns für den DHT 22 Sensor entschieden (bekannt auch als AM2302). Dieser ist ein einfacher, kostengünstiger digitaler Temperatur- und Feuchtigkeitssensor. Er verwendet einen kapazitiven Feuchtigkeitssensor und einen Thermistor um die Umgebungsluft zu analysieren, und sendet ein digitales Signal, zu den Datenanschlüssen (keine analogen Datenanschlüsse sind erforderlich). Er ist ziemlich einfach zu benutzen, erfordert aber ein sorgfältiges Timing um die Daten zu erfassen. Da es bereits umfangreiche Dokumentation dazu gibt,

hatten wir keine Probleme bei der Erstellung des Timings zur rechtzeitigen und richtigen Ablesung der Sensordaten. Der einzige wirkliche Nachteil dieses Sensors ist, dass er, obwohl er die Daten über einen Single-wire-Kabel überträgt, nicht mit Dallas One Wire - Protokoll kompatibel (wie der DS18 B20) ist. Folglich, wenn mehrere Sensoren notwendig sind, muss jeder seinen eigenen Datenanschluss haben.

Zusätzlich, haben wir vier von den Sensoren so angeschlossen, dass diese an beliebigen Punkte auf der Pflanzenschale eingesetzt werden können. Das ermöglicht eine einfache Messung der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit überall in der Umgebung der Pflanzen, einschließlich unter- und oberhalb der Pflanzenblätter.

Diskrete Wasserniveau-Ermittlung

Der Wasserdurchfluss in unserem geschlossenen Wasserkreislauf wird über magnetische Reed-Füllstandsensoren geregelt. Sie öffnen oder schließen den Stromkreis je nach der Senkung oder Steigung des Wasserniveaus.

Der magnetische Reedschalter ist hermetisch in einem Kunststoffschacht eingegliedert und der Magnet, der in einem Schwimmer eingebaut ist, bewegt sich von oben nach unten entsprechend dem Wasserniveau im Behälter. Wenn sich der Magnet in der Nähe der beiden Reedschalterkontakte befindet, ziehen diese aneinander an und kommen in Kontakt, dabei schließt sich der Stromkreislauf. Auf dieser Weise kann man über Signalverarbeitung durch das Arduino Mega Steuerungssystem das Wasserniveau im Behälter ermitteln und feststellen, in welcher Phase sich das System befindet. Durch die Umdrehung des Schwimmers, kann man den magnetischen Reedschalter zwischen den Stellungen normal geschlossen oder normal geöffnet umschalten. Wir haben uns für die Stellung normal geöffnet entschieden.

Lichtsensor

Für die akkurate Datenerfassung, ist es notwendig, PPF-D-Sensoren ins System einzubauen. Allerdings ist diese Art von Sensoren kostenintensiv, und entspricht weder dem Budget- Voranschlag noch der Zielsetzung unseres Projekts. Trotzdem, sind diese für die Ziele des Forschungsteams unentbehrlich. Damit die Messung dieser Parameter möglich ist, haben wir 4 Fotodioden von <https://www.alliedelec.com/excelitas-technologies-sensors-vtb8441bh/70219652/> bestellt. Ursprünglich wollten wir unsere eigenen PPF-D-Sensoren bauen, aber da wir in der ersten Phase des Projekts mehrere Probleme mit der Messungsgenauigkeit der Sensoren hatten, haben wir uns zuerst auf dieses Problem konzentriert und den Bau der PPF-D-Sensoren auf eine spätere Phase des Projekts verschoben.

Automatisierungshardware

Arduino Mega 2560

Der Arduino Mega ist eine Mikrocontrollerplatte, deren Funktion auf den ATmega2560 beruht. Der Grund dafür, dass wir dieses Board vorgezogen haben, ist die Vielzahl von I/Os. Um genauer zu sein, der Arduino Mega hat 54 digitale Ein-/Ausgänge, 16 analog Eingänge und 4 UARTs (Hardware serial Ports).

Die ursprüngliche Idee war, dass der Arduino als Hauptsteuersystem dienen wird, indem es, durch Benützung der Mehrheit seiner I/Os, die Daten von allen Sensoren in einem Zug einsammelt.

Da der Flash-Speicher über 256 KB verfügt, von denen 8 KB vom Bootloader verwendet werden, steht ausreichender Programmierungsspeicherplatz zur Verfügung. Da dieser mit einem Prozessor mit 16 MHz Taktfrequenz ausgestattet ist, können komplexe Projekte (wie dieses) nur mit einem Board implementiert werden. Darüber hinaus, ist der 4KB EEPROM-Speicher ein Vorteil, weil alle notwendigen Einstellwerte und Grenzwerte für den kontinuierlichen Betrieb gespeichert werden können. Bis zuletzt hat sich ergeben, dass ein einziges Board nicht zur Auslesung aller Sensordaten in unserem System ausreicht.

Arduino Nano

Da der Nano über einen kleinen Formfaktor, über genügend Flash-Speicher (32 KB ,von welchen 2 KB vom Bootloader verwendet werden) und über 22 I/Os (von denen 8 als Analogeingänge konfiguriert werden können) verfügt, ist dieser für einfachere Aufgaben, wie die Überwachung gegen Pumpentrockenlauf oder die Auslesung der Daten von Sensoren, usw. gut geeignet.

Arduino W5100-Karte

Damit der Arduino Mega alle gesammelten Sensordaten übermitteln kann, brauchten wir eine Schnittstelle zur Kommunikation zwischen dem Arduino und dem SCADA-System. Die Arduino-Ethernetkarte, welche mit dem Wiznet W5100 Ethernetchip ausgestattet ist, ermöglicht die Benützung eines TCP und UDP kompatiblen IP-Netzwerkes. Sie bedient bis zu vier gleichzeitige Socket-Verbindungen.

Die Verwendung einer Modbus-TCP-Bibliothek, die über das Ethernetnetzwerk im Labor verfügbar gemacht wurde, ermöglichte die Konfiguration einer Software-Layer für schnelle Kommunikation im Arduino.

Arduino kommuniziert über die SPI-Busleitung (durch den ICSP-Header), sowohl mit der W5100, als auch mit der SD-Karte (auf dem Ethernet Shield integriert). Diese sind auf den digitalen Anschlüssen 50, 51 und 52 auf dem Mega zu finden. Anschluss 10 wird für den W5100 verwendet und Anschluss 4 für die SD-Karte. Diese Anschlüsse sind nicht für die allgemeine I/O geeignet. Bei dem Mega, ist der Hardware-Anschluss 53 weder für die Auswahl von W5100, noch für die der SD-Karte geeignet. Bleibt dieser nicht als Ausgang, wird die SPI-Schnittstelle nicht funktionieren.

Raspberry Pi 3

Raspberry Pi3 ist die dritte Generation von Raspberry Pi. Er verfügt über einen Quad-Core 1,2 Ghz System-on-a-Chip (SoC) von Broadcom hergestellt und hat einen integrierten CPU und GPU. Er verfügt über 1 GB RAM und kann dadurch eine erhebliche Belastung tragen, trotzdem, wie es sich später herausstellte, gab es Fälle, wo er nicht ausreichend war. Er verfügt über eine integrierte LAN-, Wireless- und Low Energy-Module Bluetoothkarte, die die Kommunikation über den Ethernetanschluss oder über Wireless ermöglichte.

Er verfügt über verschiedene Anschlüsse wie CSI-Kameraanschluß und 4 USB2.0-Anschlüsse, welche das Verbinden mit der Raspberry Pi- Kamera und mit weiterem Zubehör ermöglicht. Wir haben mittels 2 von den USB-Anschlüssen 2 weitere Webcams angeschlossen, so dass wir die Systemzeitraffer aufbewahren und die Echtzeitüberwachung des Systems sichern.

Pi-Touchscreen-Display wurde an ein DSI-Display-Port angeschlossen und dadurch konnten wir eine Mensch-Maschine-Schnittstelle konfigurieren, durch welche der Echtzeit-Stand des Systems und dessen Datenstrom (wie Darstellungen, Daten, Tabellen usw.) überwachen, aber auch mit ihm interagieren (Grenz-und Sollwerte ändern) konnten.

Lochrasterplatte

Die Lochrasterplatte ist die Grundlage für die Prototypenstellung der Elektronik. Da die Lochrasterplatten lötfreie Anschlüsse hat, sind dieses wieder verwendbar. Das vereinfacht die

Entwicklung von temporären Prototypen und dient zu Experimenten für Schaltkreisdesign. Gebrauchsfertige Überbrückungskabel wurden bei der Verknüpfung aller elektronischen Komponenten und bei der Erstellung des Überwachungs- und Steuerschaltkreises verwendet. Ein großer Nachteil der lötfreien Lochrasterplatten sind die Kontakte selbst. Die dabei erzeugten Rauschsignale in Form von Kapazität, Induktivität und Widerstand schließen die rund um die Uhr Verwendung dieser Art von Stromkreis aus.

Relaiskarte

Das Ein- und Ausschalten der Pumpen und der LEDs, welche bei einer Spannung von bei 230 V AC funktionieren, wurde über Relais gesteuert. Für die Vereinfachung der Verwendung und Gestaltung, haben wir uns für eine 16-Kanal 5V Relaiskarte entschieden. Die 5 V weisen auf die Höhe der Spannung hin, die zur Umschaltung der Relais erforderlich ist. Die Relais können zwischen 10 A bei 250 V AC oder 10 A bei 30 V DC umschalten, sodass sie für unser System geeignet sind. Nur 9 Relais von den verfügbaren 16 sind für das Ein-/Ausschalten von 4 Wasserpumpen, 1 Luftpumpe, 2 LED Karten und 2 Lüftern (die bei 12 V DC laufen) verwendet. Die freien Relais können als Ersatz in Fall von Störung oder zur Erweiterung durch Anschließen von neuen Ausrüstungen verwendet werden.

3.4.2. Phase 2 und 3 - Erlangen von zuverlässigen Daten - Lösung anderer Probleme des Automatisierungssystems

Im vorigen Kapitel haben wir unseren ursprünglichen Plan zum Aufbau des Automatisierungssystems dargestellt. Bei dem Aufbau eines komplexen Systems zu erschwinglichen Preisen aber, haben wir uns vielen Herausforderungen gestellt, wie z.B., einwandfrei laufendes Automatisierungssystem mit genauen, von den Sensoren gelieferten Daten. Das hat sich als ein sehr interessantes Unternehmen erwiesen, von welchem wir viel gelernt haben. Die so gewonnene Erfahrung hat uns erlaubt, das System, bis zum Tag der Erstellung dieses Berichtes, zu verbessern. Trotzdem ist es uns gelungen, gleichzeitig, unsere Forschungen fortzusetzen. Weiter unten zusammengefasst, beschreiben wir die Angelegenheiten, die wir durch Re-Iterationen überwunden, und die Tests, die wir zur Problembekämpfung durchgeführt haben.

Angelegenheit: Sensorangaben zum Wasserstand falsch

Lösung: Pull-up Widerstand von 4,7 KOhm

Test: Position des Schwimmers ändern um herauszufinden, ob der Arduino den Zustand des Wasserniveau-Sensors richtig übernimmt.

Schlussfolgerung: Damit der Arduino genau ermitteln kann, ob sich der Reedkontakt in der Stellung geschlossen oder offen befindet, ist ein Pull-up-Widerstand notwendig. Der Sensor ist an Erdung angeschlossen, also wenn sich der Reedkontakt schließt, verbindet sich auch der Wasserstandsensoren über den dazugehörigen Eingang im Arduino an diese. Wenn der Kontakt offen ist, wird 5 V zum Eingang des Arduinos eingespeist, weil die Leitung vom Resistor unter Spannung gestellt wird. Um eine visuelle Rückmeldung über den Zustand der einzelnen Niveausensoren zu erhalten, haben wir LEDs auf die PCB-Karte angebracht, die beim Schließen des Reedkontaktes aufleuchten. Dadurch wird bekannt gegeben, ob das Wasserniveau jeden einzelnen Sensor überschritten hat.

Angelegenheit: Fehlerhafte Kommunikation zwischen Arduino und SCADA

Lösung: W5100 Ethernetkarte für Arduino

Test: Die Ethernetkarte in den Arduino einstecken und die Modbus-TCP-Bibliothek bidirektional Daten mit dem SCADA-System austauschen lassen.

Schlussfolgerung: Nachdem das Problem mit der Stromversorgung des Arduino gelöst wurde, konnte das SCADA-System die Testeintragungen aus dem Arduino auslesen.

Angelegenheit: Unzureichende Stromversorgung des Arduino Mega

Lösung: Benutzung von einem Handyladegerät, das 5 V bei 1 A liefert.

Test: Wir haben den 5-V-Ausgang der Stromversorgungseinheit direkt an den 5V und den Erdung-Pin-Anschluss des Arduino angeschlossen.

Schlussfolgerung: Der Arduino ist nicht mit der W5100-Karte hochgefahren.

Lösung: PC-Netzteil.

Test: Wir haben die 12-V- Leitung vom Netzteil an den Vin und GND- Pin-Anschluss angeschlossen, so dass der interne Spannungsregler im Arduino die Versorgung auf 5 V beschränkt.

Schlussfolgerung: Der Spannungsverlust von 7 V am Spannungsregler ist zu hoch.

Test: Wir haben den 5-V-Anschluß vom Netzteil direkt an den 5V Eingang und Erdung des Arduino angeschlossen.

Schlussfolgerung: Arduino und die W5100 Ethernetkarte starten und arbeiten OK.

Angelegenheit: Befestigung der diskreten Füllstandsensoren auf Position

Lösung: Herstellung von Sensorgehäusen auf einem 3D-Drucker

Test: Wir haben zwei Versionen erstellt, eine größere und eine kleinere, um herauszufinden, welche für unsere Anwendung besser geeignet ist. Wir haben uns für das kleinere Gehäuse entschieden, weil es uns einen leichten Zugriff und Platzbedarfreduzierung ermöglichte. Mit Hilfe von Kabelbindern wurde das Gehäuse des Wasserstandsensors an den Wasserbehälter angebrachten Kunststoffrohr befestigt. Nach etlichen Zyklen, sind Styroporablagerung und Schmutz an einem Sensoren steckengeblieben.

Angelegenheit: Diskreter Level Sensor blockiert aufgrund von Ablagerungen.

Lösung: Benützung von Kunststoffgewebes zum Filtern des Schmutzes

Test: Der hintere Teil des Gehäuses wurde mit Kunststoffgewebe eingewickelt, von der Art die man zwecks Insektenschutz an Wohnungsfenster anbringt.

Schlussfolgerung: Sensoren blockieren sich nicht mehr und das 3D-gedruckten Gehäuse ermöglicht eine einfachere Lösung zur Befestigung der Wasserstand-Sensoren.

Angelegenheit: Befestigung der Umgebungstemperatur- und Feuchtigkeitsensoren

Lösung: Herstellung von Sensorgehäusen auf einem 3D-Drucker

Test: Wir haben ein Gehäuse, das die DHT 22 Sensorplatte bis auf die Leitungsanschlüsse und Sensorfühlfäche komplett einkapselt auf einem 3D-Drucker hergestellt.

Schlussfolgerung: Die privat 3D-gedruckten Gehäuse, haben zur Kostenreduzierung beigetragen und haben den Forschern die Möglichkeit gegeben, die Sensoren überall im System einzusetzen (z.B. unterhalb und oberhalb der Pflanzenblätter, in den Keimschalen).

Angelegenheit: Die 230 V-AC Versorgung der Pumpen über die Relais

Lösung: Kabelstecker.

Test: Wir haben ein Ende eines Netzkabels an das Relais angeschlossen und an das andere Ende haben wir eine Steckdose angebracht. An diese Dose wird die Wasserpumpe angeschlossen.

Schlussfolgerung: Zugriff wurde vereinfacht und die Garantie der Pumpen ist durch das Abschneiden des Steckers nicht ausgefallen.

Angelegenheit: Auslesen der gelösten Sauerstoff-Sensoren (DO)

Detaillierte Beschreibung: Solange die DO-Sensoren, mittels Lochrasterkarte einzeln ausgelesen wurden, waren die Messwerte richtig. Nachdem aber alle Sensoren an eine einzige Buslinie angeschlossen wurden, traten ungenaue Auslesungen und zufällige Ausfälle des Arduino Mega ein.

Lösung: Wir haben 10 kOhm Pull-up-Widerstände auf die SCL und SDA-Leitungen des I2C der DO-Sensoren angebracht.

Test: Nachdem man die 10 kOhm statt der ursprünglichen 4,7 kOhm Pull-up-Widerstände installiert hat, konnte das System erfolgreich alle 4 Sensoren auslesen, aber die zufälligen Ausfälle von Arduino Mega wurden nicht beseitigt.

Angelegenheit: Zufällige Ausfälle von Arduino Mega.

Lösung: Ändern der I2C-Bibliotheken.

Test: Wir haben mehrere allgemein verfügbare I2C-Bibliotheken benützt, auch solche die Timeouts für Kommunikation beinhalten. Im System traten weiterhin zufällige Ausfälle auf. Eine Systemkonfiguration hat 72 Stunden lang einwandfrei funktioniert, ist aber nachher ausgefallen. Nach Neustart, kam es immer wieder zu einem Ausfall nach wenigen Minuten oder Stunden. Nachdem wir das Oszilloskop auf die SCL und SDA-Leitungen angebracht haben, merkten wir, dass das Protokoll nicht vollständig ausgeführt wurde. Wegen der elektrischen Kapazität der Buslinie (15 Meter), wurde das Timing der 1 und 0 Sequenz, die nötig für die gute Funktionalität des Protokolls war, nicht erreicht.

Lösung: Erstellung eines Arduino-Netzwerkes zwecks Auslesung der DO-Sensoren (in Phase II).

Test: Wir haben für jeden der 4 DO-Sensoren einen Sonderschaltkreis erstellt, der aus einem Arduino Nano, einem DO-Sensor, einem Pull-up-Widerstand und einer TTL-RS485-Umformkarte gebildet ist. Dadurch haben wir ein RS485 Netzwerk zum Auslesen der DO-Sensoren aufgebaut. Wir haben das RS485 aufgrund der Tatsache gewählt, dass es ein industrielles Protokoll ist, das Buslängen von bis zu 1 km erlaubt. Das Datenaustauschprotokoll wurde im eigenen Haus entwickelt und stellt folgende Funktionsweise auf: der Master fragt jeden Slave ab, die Daten vom Sensor zu senden. Ein Timeout Watchdog wurde in den Master eingegliedert, damit der Kommunikationsfluss einwandfrei funktioniert. Nach 5 erfolglosen Versuchen, Daten von einem der Slaves zu lesen, sanken die Auslesewerte der Sensoren auf 0 ab, was auf einen Funktionsausfall eines Sensors hinweist.

Angelegenheit: Kurzschluss an diskreten Wasserniveau-Sensoren

Beschreibung: Wegen Kurzschlüsse, gaben die Wasserniveau-Sensoren falsche Auslesungen an, die die Durchfluss-Automatisierung als unbrauchbar hinstellte, weil der Wasserdurchfluss nicht mehr überwacht werden konnte.

Lösung: Abdichtung der elektrischen Anschlüssen.

Test: Beim ersten Test haben wir versucht, die Kabel einzeln mittels Schrumpfschläuche zu isolieren, aber diese sind nicht wasserabweisend. Bei dem zweiten Test haben wir eine Heißklebepistole verwendet, um die Schrumpfschläuche abzudecken, das Wasser konnte aber immer noch durchdringen. Beim dritten Test haben wir Stoßverbindungen für elektrische Leitungen benützt und haben die Enden dieser Verbindungen mit heißem Klebstoff versiegelt.

Schlussfolgerung: Damit wir keine Kurzschlüsse im Stromkreis haben und weil Wasser ein sehr guter Stromleiter ist, wurden alle eingetauchten, elektrischen Anschlüsse wasserdicht gemacht.

Angelegenheit: Wasserverschüttung.

Beschreibung: Wegen eines zufälligen Ausfalls, fand eine Wasserverschüttung statt. Die Pumpe lief weiter, obwohl das Wasser die maximale Stufe im Behälter erreicht hatte. So fand eine Wasserverschüttung statt und die Umgebung war nicht mehr kontrolliert.

Lösung: Verwendung eines AND Gate IC um ein festprogrammiertes Sicherungssystem für die Pumpenkontrolle zu sichern.

Test: Das IC wurde so in das System integriert, dass, wenn sich das Wasserniveau unterhalb des Minimalfüllstandes befindet, die Pumpenrelais nicht zum Leeren des Wasserbehälters auslösen.

Angelegenheit: Die Minimalfüllstandsüberwachung war nicht ausreichend für das festprogrammierte Sicherungssystem

Lösung: Benützung eines Arduino Nano um einen NAND-AND Gate hardware Sicherheitssystem zu aufzubauen.

Test: Der Arduino wurde so programmiert, dass die Relais nur dann zum Ausleeren auslösen, wenn das Wasser sich oberhalb, bzw., zum Auffüllen, wenn es sich unterhalb des Minimalwasserstandes im Behälter befindet.

Schlussfolgerung: Da wir nun ein festprogrammiertes Sicherheitssystem hatten, konnten wir zwei Notlagen vermeiden: Pumpentrockenlauf und Wasserverschüttung im Labor.

Angelegenheit: Energieverluste bei Arduino Mega.

Beschreibung: Der 5-V-Schienenanschluss, der den Arduino und die Sensoren mit Strom versorgt, verursacht Spannungsschwankungen wegen loser Verbindungen auf der Lochrasterplatte.

Lösung: Wir haben einen benutzerdefinierte PCB aufgebaut, der alle nötigen Schaltkreise beinhaltet, die vom Arduino Mega und dem Arduino Nano zur Sensorauslesung und Durchflusssteuerung benötigt werden.

Test: Nach dem Aufbau und Einsetzen der benutzerdefinierten PCB, der die ursprünglichen Verbindungen über Lochrasterplatten ersetzt hat, haben wir bemerkt, dass keine Spannungsschwankungen mehr aufgetreten sind.

Schlussfolgerung: Die Benützung von Lochrasterplatten und Schaltdrähte ist keine Lösung für den kontinuierlichen Systembetrieb. Diese können kein robustes, für den rund um die Uhr geeigneten Betrieb geeignetes System liefern.

Angelegenheit: Zufälliger Ausfall von Arduino Mega verursacht von dem W5100.

Beschreibung: Nach der Implementierung des Programmes, der zur Sensorauslesung und Durchflusssteuerung dient, mussten alle Erfassungsdaten zu dem SCADA-System übermittelt werden. Die Übermittlung der Daten über eine W5100 Ethernetkarte, mittels Modbus TCP, verursachte zufällige Ausfälle des Arduino Mega. Nach viel Forschung ergab sich, dass viele Benutzer sich über die Zuverlässigkeit der W5100 beschwert haben.

Lösung: ESP 32

Test: Wir haben einen bidirektionalen Datenaustausch zwischen Arduino Mega und ESP 32 konfiguriert. Durch das Einsetzen des Modbus-TCP Slave auf die ESP 32, wurden die aus dem Mega von der ESP ausgelesenen Daten an das SCADA-System (Modbus TCP Master) übermittelt. Die Einstellwerte (für die Ansteuerung der LEDs und Lüfter) werden vom SCADA-System an die ESP 32 übermittelt.

Angelegenheit: Ungenaue EC-Leitfähigkeit/pH-Werte Auslesungen

Beschreibung: Die Werte der EC/pH-Messungen, die über die analogen Eingänge der Arduino Mega übermittelt wurden, hatten Schwankungen. Als wir die EC Sonde in den Wasserbehälter einführten, wurde ein pH-Wert von 14 ausgelesen. Nach einigen Messungen konnten wir feststellen, dass das Funktionsprinzip der Sonde, Leitfähigkeitsmessung durch Sendung von Mikroströmen ins Wasser, die pH-Messung störte.

Lösung: Die Sonden möglichst weit entfernt voneinander einbauen.

Test: Die Pflanzschale war die einzige Stelle, die das ermöglichte. Nachdem wir die EC-Sonde an das andere Ende als die pH-Sonde eingesetzt hatten, waren die Mikroströme nicht stark genug um die pH-Messung zu beeinflussen.

Angelegenheit: Fehlauslesung der EC-Leitfähigkeit/pH-Wert von der gleichen Sensorbox über den gleichen Arduino.

Beschreibung: Da die EC/pH-Messungen isolierte Massenanschlüsse haben müssen, können diese nicht mit dem gleichen Arduino gelesen werden. Er hat eine gemeinsame Erdung für alle Analogeingänge.

Lösung: Leitfähigkeit mit einem Arduino Nano (Phase II) lesen.

Test: Die Leitfähigkeitsmessungen über einen Arduino Nano durchführen und dann den erfassten Wert an den Arduino Mega über RS485-Protokoll übermitteln.

Schlussfolgerung: Die EC-Sonde und die pH-Sonde können sich im selben Wasserfach befinden, nur wenn sie weit genug voneinander entfernt eingebaut sind, sonst stören die Mikroströme der EC-Sonde die pH-Sonde. Daraus folgt, dass die Messungen der pH und EC, über Analogeingänge, getrennt gehalten werden müssen. Auch hat es sich herausgestellt, dass es notwendig ist, dass die beiden Sonden separate Erdanschlüsse haben.

Angelegenheit: Zufälliger Ausfall des Raspberry Pi.

Beschreibung: Raspberry Pi konnte das Fahren des NET Framework, notwendig für den Betrieb des SCADA-Systems, nicht zuverlässig sichern. Der Raspberry Pi ist von Zeit zu Zeit ausgefallen und die Daten wurden aus dem System nicht konsequent erfasst. Das NET Framework zeigte Probleme bei dem Betrieb auf den Raspberry Pi an.

Lösung: Wechseln der Raspberry Pi mit einem gebrauchten Laptop (Phase II).

Test: Wir haben einen eigenen, alten, unbenutzten Laptop neukonfiguriert und das komplette SCADA-System darauf installiert.

Angelegenheit: Daten nicht zuverlässig auf dem Laptop erfasst.

Beschreibung: Wegen der Hardwarebeschränkungen des Laptops, wurden die Daten nicht alle 30 Sekunden erfasst.

Lösung: Anschaffung von einem gebrauchten Notebook mit besserer Leistung (Phase II).

Test: Nach dem Kauf und Einsetzen eines Laptops, der mit Intel Dual Core T9700-Prozessor und 2 GB RAM ausgestattet war, ist der SCADA-Server reibungslos gelaufen und die Daten konnten einwandfrei erfasst und gespeichert werden. Darüber hinaus, wurden alle von der SCADA-Software erstellten Datenbanken über Google Backup und Sync mit der Cloud synchronisiert. Zusätzlich, nach der Erstellung der Port-Weiterleitung, konnte man auf dem SCADA-Web Server von einem Remote-Standort über das Internet zugreifen.

Schlussfolgerung: Man braucht eine relativ starke Plattform, damit der SCADA-Webserver und die Cloud Synchronisation laufen können.

Angelegenheit: Steuerung der LEDs ON- Zeitdauer (Phase II).

Lösung: Erstellung von Sollwerten, bei welchen die LEDs ein- und ausgeschaltet werden sollen.

Test: Einstellung einer Sollwertseite im SCADA-Webserver, wodurch Grenz- und Sollwerte gesteuert werden. Alle Daten werden dann an die ESP 32 übermittelt, die die Befehle zur Ein- und Ausschaltung der LEDs abhängig von der Uhrzeit sendet.

Angelegenheit: ESP 32 Echtzeituhr (RTC)

Beschreibung: Um die interne RTC des ESP 32 zu benützen, sollte die Zeit bei jedem Start eingestellt werden. Die ESP32 verfügt über keinen permanenten Speicher, der bei einem Stromversorgungsabfall das Datum und die Zeit speichert und den Zeitzähler weiterlaufen lässt.

Lösung: Synchronisation über Internet des ESP 32-RTC mit dem NTP-Server.

Test: Durch die Verwendung einer Bibliothek, lesen wir das Datum und die Uhrzeit vom NTP-Server aus, kompensieren für die Zeitzone und Sommerzeit und stellen die RTC zu der NTP-Zeit ein. Entsprechend verfolgt die interne RTC die Zeit und schaltet die LEDs EIN und AUS.

Angelegenheit: Real-Life Bedingungssimulation für die Pflanzen (Phase II).

Beschreibung: In der Natur kommt es vor, dass der Wind von Zeit zu Zeit die Blätter der Pflanzen bewegt.

Lösung: Um so ein Verhalten in einer kontrollierten Umgebung zu simulieren, müssen die Lüfter regelmäßig eingeschaltet werden, und das nicht nur von der Feuchtigkeit bedingt.

Test: Ein Timer, der die Lüfter jede Stunde 15 Minuten (Sollwert)lang einschaltet.

Angelegenheit: Zu hohe Temperatur auf der Pflanzschalenebene (Phase II).

Lösung: Einschalten der Lüfter, wenn sich die Temperatur oberhalb, bzw., Ausschalten, wenn sie sich unterhalb eines bestimmten Temperatur-Sollwerts befindet und wenn keine anderen Bedingungen den EIN-Zustand verlangen.

Schlussfolgerung: Um die Umgebungsbedingungen so ähnlich wie möglich den in der natürlichen Umwelt vorkommenden Bedingungen zu erhalten, haben wir einen Zeitschlitz eingestellt, der die Lüfter zwecks Luftbewegung jede Stunde einschaltete. Zusätzlich, wurde durch die Einschaltung der Lüfter, die Umgebungstemperatur und -Feuchtigkeit konstant gehalten.

Angelegenheit: Überwachung des Labors (Fische und Pflanzen) (Phase II).

Beschreibung: Notwendigkeit, das Fisch- und Pflanzenverhalten über Video zu überwachen.

Lösung: Aufstellen von Pi Noir Kamera und weiteren Webkameras

Test: Die MotionEye Videoüberwachung Software wurde auf den Raspberry Pi installiert und dann die Pi-Noir Kamera und die Webkameras zur visuellen Beobachtung der Pflanzen und Fische konfiguriert. Die Pi-Noir wurde zur Erstellung der Zeitrafferaufnahmen des Pflanzenwachstums benützt, indem man tägliche Momentaufnahmen von einigen Pflanzen in der unteren Schale aufnahm. Eine der Webkameras wurde oberhalb des Aquariums platziert, damit man das Verhalten der Fische, vor allen bei der Ernährung, überwachen kann. Die zweite Webkamera wurde am hinteren Teil der Pflanzschale platziert, damit man einen Überblick auf die komplette Pflanzschale bekommen kann.

Angelegenheit: PCB Ausfall wegen Korrosion (Phase II).

Beschreibung: Bei der Erstellung der benutzerdefinierte PCB-Karte, benützten wir einen Laserdrucker zur Gestaltung und zur thermischen Übertragung auf eine Kupferplatte der PCB. Wegen der Druckerauflösung, korrodierten die Leiterbahnen nicht ordnungsgemäß, denn dabei kam es zu Kurzschlüssen.

Lösung: Den Abstand zwischen den Leiterbahnen vergrößern.

Test: Neugestaltung der PCB-Karten, um einen Abstand von 0.5 mm zwischen 2 parallelen Leitbahnen zu sichern. Nach ein paar Fehlversuchen, wie z. B., das Medium und den Drucker zu wechseln oder die Designs vom Papier auf die Kupferplatte zu übertragen, gelang es uns, die Leitbahnen einer benutzerdefinierten PCB-Karte ordnungsgemäß korrodieren zu lassen.

Schlussfolgerung: Die Abstände zwischen den Leiterbahnen der PCB müssen an die Druckerauslösung angepasst werden.

Angelegenheit: Anschlussinkompatibilität zwischen ESP 32 und Pegelwandler (TTL-Konverter)

Beschreibung: Weil die ESP32 Pegelwandlerspannung von 3,3V (einschließlich der UART-Schnittstellen) und der Arduino Mega eine 5V-Logik hat, war ein TTL-Konverter erforderlich. Nach der dem Einsetzen der ESP32 in den elektrischen Schaltplan, Ausdruck der PCB-Karte und Löten der Komponenten, stellten wir fest, dass der Abstand zwischen den Löchern auf der PCB-Karte den Zusammenbau der ESP32 und des TTL-Konverter nicht erlaubte. Der Grund dafür ist die Vielfalt an Zulieferer, die verschiedene Bauarten der gleichen Elektronik-Komponenten anbieten.

Lösung: Neugestaltung der PCB-Karte, Ablötung aller Komponenten, sodass diese neuverwendet werden können.

Test: Nach der Neugestaltung der PCB, alle Komponenten passten richtig zusammen. Wir stellten eine neue PCB-Karte her und löteten alle Komponenten daran, so dass das System mit allen Ergänzungen funktioniert.

Schlussfolgerung: Alle Komponenten (wenn möglich), die für das System erforderlich sind im Voraus messen.

Angelegenheit: Unbekannter Funktionsstand des Arduinos oder der ESP 32 (Phase II).

Beschreibung: Um eine schnelle Fehlerbehebung in der Systemfunktionalität zu ermöglichen, waren einige visuelle Melder notwendig.

Lösung: Status-LEDs.

Test: Als wir die PCB-Karte neugestalteten, um die ESP 32 und den TTL-Konverter einzupassen, fügten wir noch Status-LEDs hinzu. Von der Software-Sicht aus, wurde das Programm so eingestellt, dass es die LEDs eingliederte, wie z.B. blink-on 1 Hz LED, so dass man mühelos erkennen konnte, ob der Arduino oder die ESP32 noch liefen und ob das Programm weiterhin am Laufen war. Zusätzlich wurde noch eine rote LED eingegliedert und die Software zur Fehlerbehebung im RS485-Netzwerk eingestellt.

Schlussfolgerung: Status-LEDs erleichtern die erste Fehlerbehebung

Angelegenheit: ESP 32 Ausfall (Phase II).

Beschreibung: An einem Morgen, war die ESP 32 sehr heiß, obwohl sie über eine Kühlrippe mit einem Lüfter gekühlt wurde. Der integrierte Spannungsregler war ausgefallen.

Lösung: Die ESP 32 wurde mit einer neuen Einheit ersetzt.

Test: Nachdem die ESP 32 ersetzt wurde, kehrte das Überwachungssystem wieder zurück online. Wir versuchten den defekten Spannungsregler der ESP32 mit einem neuen auszutauschen, aber sie fuhr nicht mehr hoch. Es ergab sich, dass eine andere Onboard-Komponente ausgefallen war, was zu einem zu großen Spannungsabfall führte.

Schlussfolgerung: Immer Ersatzteile zur Verfügung haben, falls etwas ausfällt.

Verbesserung: Status-LEDs für Pumpen (Phase II).

Beschreibung: Installation von LED-Leuchten auf den Behältern. Die LEDs sind zu der 230-V-Steckdose jeder Pumpe verbunden. Auf dieser Weise, leuchteten sie auf, als sich die Pumpe unter Spannung befand (als die Pumpe in Betrieb kam). So konnte man leicht bemerken, welche Pumpe in Betrieb war, ohne das man das SCADA-System überprüfte.

Angelegenheit: PPFD Messung (Phase II und III).

Beschreibung: Schaffung eines kostengünstigen Licht-Messsystems, das in der Lage ist, die Lichtintensität mit dem PPF-D-Wert zu korrelieren.

Lösung: Benützung eines ausgeliehenen Spektrometers (AsenseTek LightingPassport pro Essence), das alle zur Korrelation zwischen Lichtintensität und PPF-D erforderlichen Parameter messen kann.

Test: Wir erstellten ein Lightmapping gebildet aus 44-Punkten, auf 3 verschiedenen Höhen, um so viele Messpunkte wie möglich zu bekommen. Nach Prüfung von mehreren Helligkeitssensoren, entschieden wir uns für den BH1750 (Phase III). Um eine genaue Messung der Lichtintensität zu haben, ist die Benutzung eines Lichtdiffusors pflichtig. Nachdem alle Messungen vorgenommen wurden, ergab sich der Koeffizient 0,047089897, als der zur Umwandlung der Helligkeit (Lux) zu PPF-D notwendige Mittelwert.

Schlussfolgerung: Es ergab sich, dass ein teures Spektrometer notwendig ist, um ein kostengünstiges PPF-D-Messgerät zu bauen.

Angelegenheit: Abfall der ausgelesenen pH-Werte beim Starten der 12- V -Lüfter (Phase II)

Beschreibung: Als sich die Lüfter einschalteten, wurden Spannungsabfälle an beiden Analog-Eingängen registriert.

Lösung: Relaiskarte über eine andere 5-V-Stromquelle versorgen.

Test: Nach Umschalten auf eine andere Stromquelle, war das Problem immer noch nicht gelöst.

Lösung: Austauschen der PC-Stromversorgungseinheit zuständig für die Stromversorgung des gesamten Automatisierungssystems.

Test: Die PC-Stromversorgungseinheit mit zwei industriellen Einheiten, eine für 12 und eine für 5 V ersetzen. Auch nach diesem Eingriff, ergaben sich immer noch Spannungsabfälle, aber nach einigen Tests, konnten wir diese auf einen Erdanschluss in der oberen Pflanzschale zurückführen. Nach dem Ersetzen sämtlicher Luftversorgungskabel, beseitigten wir die Spannungsabfälle.

Schlussfolgerung: Sicherstellen, dass es keine Erdungskreise im System gibt.

Angelegenheit: Ungenaue Auslesungen über Analog-Eingänge (Phase II)

Beschreibung: Der Arduino Nano verwendet die interne Spannung als Referenz, um die Analog-Eingänge auszulesen. Aufgrund der Tatsache, dass jeder einzelne Arduino von 5-V Handy-Ladegeräten über die 5-V-Anschluß-Pins versorgt war, unterscheidet sich die Versorgungsspannung der verschiedenen Arduino-Einheiten voneinander.

Lösung: Ausgleich der Spannungsversorgung über die Software.

Test: Einbau eines Programms, das die Eingangsspannung des Arduinos ausliest und das die Auslesungen über die Analog-Eingänge dementsprechend kompensiert.

Lösung: Durchschnitt der Messwerte.

Test: Erstellen einer Software-Schleife, die die Analog-Eingänge (pH) 10x nacheinander ausliest und dann einen Durchschnitt der Messwerte errechnet. Diese Errechnung erfolgt sehr schnell, wenn der Master die Daten von dem Arduino Nano anfordert.

Angelegenheit: Elektrische Interferenzen erzeugt von den Pumpen (Phase II)

Beschreibung: Wenn sich die DO-Sensoren im Wasserbehälter befanden, erzeugten sie Rauschsignale im Wasser.

Lösung: Erdanschluss für Wasserbehälter.

Test: Da der Wasserbehälter aus Kunststoff gebaut ist, schließen wir die Wassermasse über einen abisolierten Draht an den Erdungskreis an. Nachher schien es, dass sich die Messungen stabilisierten. In dieser Zeit, führten wir mehrere Tests durch, indem wir die Sensoren aus dem Wasser entfernten und in Plastikbechern einsteckten. Der Zweck war, diese galvanisch zu trennen, um die

Stabilisierung der pH/DO Messungen zu sichern, was uns bis zuletzt gelang. Weiter vorgenommene Tests: Entfernen des Temperatursensors aus dem Wasser und aus den Plastikbechern, um auszuschließen, dass dieser Rauschsignale aufnimmt; Eintauchen der pH- und der DO-Sonden in gleiche und separate Wasserbehälter; Verbindung der Schutzerdung zur V- der 5V-Stromversorgungseinheit und Trennung der Schutzerdung von der 12 V- Einheit. Weitere Versuche: Wir änderten die Software auf dem Arduino Nano, so dass dieser nur dann die Sensoren ausliest, wenn der Master (Arduino Mega) das über RS485 anfordert. Wir änderten auch die Stromversorgungsbuchse der Pumpen und der LEDs, um einen großen Stromabfall (über 30 V AC) am Hauptnetz zu verhindern. Ein weiterer Test war sowohl die Relaiskarte mit einer neuen auszutauschen, als auch das Ersetzen deren Stromversorgungseinheit. Trotzdem kamen immer noch Interferenzen von der Pumpen auf.

Schlussfolgerung: Die komplette Anlage muss an Masse angeschlossen sein und die DO-Sensoren müssen elektrisch isoliert sein.

Angelegenheit: Galvanische Trennung von Nano Sensorkarten (Phase III)

Lösung: Wireless Nano Sensorkarten

Test: Wir verwendeten den NRF24L01+, um ein wireless Netzwerk von Nanosensoren (auf den Arduino Nano basierende PCBs zum Auslesen des DOs, der Wassertemperatur und des pH-Wertes), anstatt des RS485-Netzwerkes zu erstellen. Einer der Tests bestand darin, einige Bibliotheken zu benutzen, die die Kommunikation mittels Austausch der Master- und Slaverollen ermöglichten, aber weil sich das als erfolglos bewies, benutzten wir die bestätigte Datenpakete-Methode für die NRF Kommunikation. Der Master (Arduino Mega) sendet einen Befehl an die Slaves, die Sensoren auszulesen. Die Slaves werden darauf das Datenpaket quittieren. Mega wird dann weiter die Umgebungssensoren (DHT) auslesen, gefolgt von der Sendung eines anderen Befehls an die Slaves. Diesmal werden die Slaves mit Daten von den Sensoren quittieren.

Angelegenheit: Elektrische Rauschsignale (Phase III)

Durchgeführte Tests:

- Wir änderten die Lage der PCBs und legten das Kabel entlang der Kunststoffrohre - keine Auswirkung auf die Interferenz.
- Wir schlossen die Sensoren an das Stromnetz vom anderen Labor an - keine Auswirkung auf die Interferenz.
- Wir tauschten das Kabel zwischen der Steckdose und den LEDs auf dem Bakterientank aus - keine Auswirkung auf die Interferenz.
- Wir legten die LEDs auf den Boden - keine Auswirkung auf die Interferenz.
- Wir trennten die Pumpen von den Steckdosen ab, um zu sehen, ob das Umschalten der Relais einen Einfluss auf die DO- Sonde hatte - Die Relais beeinflussten die Sonde nicht.
- Wir schließen die Pumpe wieder an die Steckdose an - beim Anlauf der Pumpe, wurde die DO-Sonde durch das elektrische Rauschsignal beeinflusst.
- Wir legten Styropor unter dem Kunststoffbecher im welchen sich die DO-Sonde befand - elektrischer Rauschsignal beeinflusste die Sonde immer noch;
- Wir stellten den Plastikbecher auf den Boden - die Interferenz reduzierte sich ein wenig;
- Wir stellten den Kunststoffbecher weiter vom Behälter entfernt - die Interferenz reduzierte sich wesentlich.
- Wir schirmten den Plastikbecher mittels Alufolie ab und schlossen diese an den Erdungskreis an – der Eingriff reduzierte die Interferenz;

- Wir schirmten die DO-Sonde mittels Alufolie ab und schlossen diese an den Erdungskreis an - das reduzierte die Interferenzen, aber auch die Genauigkeit der Messung;
- Wir brachten Isoliermaterial auf die PCB der DO-Sonde an - keine Auswirkung auf die Interferenz.
- Wir nahmen den Wassertempersensur aus dem Kunststoffbecher heraus, um zu sehen, ob dieser sich als Aufnahmeantenna verhält - keine Auswirkung auf die Interferenz;
- Wir stellten die Stromversorgung von zwei Nanosensorkarten auf Akku - keine Auswirkung auf die Störungen;
- Wir stellten die DO-Sonde unmittelbar unter eine Lichtquelle, um zu sehen ob das Licht den Messwert beeinflusst - kein Einfluss auf den gemessenen Wert, Interferenz aber immer noch vorhanden;
- Wir schlossen die LEDs unmittelbar an die Steckdosen und nicht durch die Relais an, um zu sehen, ob die von den LEDs erzeugten Rauschsignale die DO-Messwerte beeinflussten. Das führte uns zur folgenden Lösung.

Lösung: Die gesamte Anlage an Erdung anzuschließen.

Test: Wir schlossen ein neues Kabel an den Erdanschluss vom Schaltschrank des Stockwerkes.

Wir bauten eine Erdungsschiene an welche wir alle Erdungskabel im Labor anschlossen. Wir schlossen die LEDs, die metallische Drähte der Riemenscheiben (von der Einrichtung zur Höhenverstellung der LEDs), alle Tanks und Schalen an, indem wir ein Kabel ins Wasser einführten und den metallischen Rahmen der Schalen an Masse legten.

Wir führten noch einen Test durch, indem wir den pH-Sensor zum Eingang des Arduino anschlossen, wobei sich die Interferenz amplifizierte, das uns bis zuletzt zur folgenden Lösung führte.

Lösung: Die Anschaffung von einem EZO Inline Spannungstrenner.

Test: Noch nicht durchgeführt, weil wir noch auf den Spannungstrenner warten.

Angelegenheit: Anhalten des Arduinos beim Lesen der wireless Sensoren (Phase III).

Lösung: Wir recherchieren die Möglichkeit, einen Watchdog einzufügen, der bei einer fehlgeschlagenen Auslesung eines Sensors, automatisch zum nächsten Sensor umschaltet.

3.4.2. Phase 4 - Verstärkung der Zuverlässigkeit aller Sensorauslesungen, Datenerfassungen und Optimierung des Automatisierungssystems

In dieser Phase, nachdem wir alle Tests und Optimierungsetappen durchführten, gelang es uns ein automatisiertes Aquaponik-System zu aufzubauen, das zuverlässige Sensorauslesungen und die Erfassung von großen Datensätze ermöglichte. Wir haben viel Arbeit für diesen Meilenstein eingesteckt, aber das hat sich für die Entwicklung unseres Projekts zweifellos ausgezahlt. In der Zeit, als wir diesen Bericht erstellten, arbeiteten wir bei der Optimierungsphase 2.0, in welcher wir versuchten, ein autonomeres Automatisierungssystem zwecks Verbesserung der Pflanzenqualität zu bauen, wo die erfassten Daten als direkter Input für die Durchflusssteuerung dienen.

Angelegenheit: Diskreter Wasserstandsensor klemmt wegen der Feststoffe im Wasser.

Lösung: Wir reinigten das Sieb-Filter der einzelnen Sensoren

Test: Wir reinigten das Siebfilter von jedem Sensor und bemerkten, dass nach ein oder zwei Wochen, das Filter erneut mit Feststoffen verstopft war. Das bedeutet, dass das System nicht zuverlässig genug funktionierte und auch dass es wartungspflichtig war.

Lösung: Austausch der Wasserstandsensoren

Test: Erstens versuchten wir einen kostengünstigen Ultraschallsensor (HC-SR04) zu benutzen. Nachdem wir die notwendigen Messungen durchführten, stellten wir fest, dass die Sensoren den Abstand nicht stabil genug maßen. Der Hauptgrund dafür waren die Wellen im Wasserbehälter, die wegen Luftbewegungen oder beim Auffüllen mit Wasser entstanden.

Die zweite Art von Sensoren, die wir ausprobierten, war der XKC-Y25-T12V Flüssigkeitsstand-Sensor. Durch die Montage dieser kapazitiven Sensoren auf die äußere Oberfläche der Wassertanks, gelang es uns, einen höchst zuverlässigen Wasserdurchfluss zu sichern, weil sich kein mehr Schmutz auf den Sensoren ansammelte und weil die Möglichkeit bestand, die Empfindlichkeit der Sensoren aufgrund der Konditionen im Behälter einzustellen. Der einzige Nachteil bei dieser Messlösung war, dass der Sensor außerhalb des Wasserbehälters montiert war und dadurch zufälligen Beschädigungen ausgesetzt war.

Schlussfolgerung: Um einen zuverlässige Wasserdurchfluss zu sichern, benutzten wir den berührungslosen Füllstandsensor. Diese Sensoren ergaben sich als kostengünstig genug, um weiterhin dem Erschwinglichkeitsziel des Projektes gerecht zu bleiben.

Angelegenheit: Keine zuverlässige Messung der DO-Sensoren

Lösung: Wir reinigten die Sensorsonden.

Test: Auf dem Erfassungsbereich der DO-Sensoren hafteten Feststoffe. Nach der Reinigung der Sonden und der Neukalibrierung der Sensoren erhielten wir einige zuverlässige Messwerte, aber sobald der Durchfluss beliebig anhielt, lösten sich die Sensoren ab und lieferten dabei schlechte Werte. Nachdem wir einige Messungen mit dem Messgerät für den gelösten Sauerstoff aus dem Labor durchführten, stellte es sich heraus, dass nur dann genaue Messwerte übertragen wurden, wenn die Sonde vollständig und unbewegt unter Wasser lag. Aber die Sonde im Wasser ganz unbewegt zu behalten, widersprach den Messanweisungen des Messgerätes. Das Handbuch wies ganz eindeutig an, dass die Sonde im Medium bewegt werden muss bis sich die Auslesung stabilisiert. Das führte uns zu einer anderen Lösung.

Lösung: Aufbau eines Wasserkreislaufes für die Sonden.

Test: Wir bestellten eine kleine zum Haushaltverbrauch geeignete Aquariumpumpe (Eheim CompactON 300 lph). Diese Pumpe, die kleinste die wir lokal fanden erzeugt, einen Durchfluss von 300 Liter pro Stunde, der aber ausreichend zur Abdeckung unseres Bedarfs war. Durch die Verwendung von Styropor, 3 T-Stücken und einigen Schläuchen bauten wir eine Vorrichtung, die die Sonden und Pumpen oberhalb des Wassers hielt. Diese verhinderte, dass die Feststoffablagerungen von der Grundfläche des Behälters in Kontakt mit den Messsonden gerieten, sodass nun weniger intensive Wartungsarbeit der Pumpen und Sonden nötig war. Nach der Umsetzung des Wasserkreislaufes, stabilisierten sich die DO-Messungen.

Schlussfolgerung: Für eine genaue Messung ist ein Wasserdurchfluss erforderlich. Die einfachste Art und Weise einen Wasserdurchfluss in unser System einzusetzen war der Einbau eines Wasserkreislaufes. Diese Art von Kreisläufen wurde in allen Wassermesspunkten des Systems eingebaut.

Angelegenheit: Zuverlässige und kostengünstige PPFD Messungsmethode.

Lösung: BH 1750 Lichtsensor mit eingebauten Lichtdiffusor

Test: Wir bestellten 4 Lichtsensoren mit eingebauten Lichtdiffusor. Bei den ersten Prüfungen der optischen Eigenschaften der Lichtsensoren, ergab sich, dass die Messungen nicht richtig waren. Die ermittelte Lichtintensität war niedriger als die, die mit dem Spektrometer gemessen wurde.

Lösung: Die BH 1750 Sensoren mit Lichtdiffusoren verbinden, und zwar solche, die Abtastimpulse beim Fotografieren abgeben.

Test: Der Kauf eines im Handel erhältlichen Lichtdiffusors erlaubte uns, mit der Ermittlung der Lichteigenschaften und den Messungen zu experimentieren. Wir bauten einen Styroporhalter für den Lichtsensor und Diffusor, mit dessen Hilfe der ideale Abstand zwischen den beiden ermittelt werden konnte, was uns zu genauen Messungen verhalf. Nachdem wir alle Messungen vornahmen, kauften wir noch 3 Lichtdiffusoren und bauten weitere 3 Styroporhalter für die restlichen Sensoren, was uns jetzt ausreichend genaue PPF-D-Messungen an allen Pflanzenschalen erlaubt.

Schlussfolgerung: Erschwingliche Lichtsensoren brauchen relativ viel manuelle Arbeit für Aufbau und Einrichtung, um bis zuletzt zuverlässige Messungen zu liefern.

3.4.3. Aktuelle Gestaltung der Automatisierung und Zustand der Sensoren

Füllstandsensoren: Berührungsloser Füllstandssensor basiert auf dem XKC-Y25-T12V. Diese wurden auf der Außenseite des Wasserbehälters montiert, was zu geringerem Wartungsaufwand und zu einer höheren Zuverlässigkeit des Durchflusses führte. Die Möglichkeit, die Empfindlichkeit der Sensoren einzustellen, stellte sich als sehr hilfreich heraus, da die Wandstärke des Behälters die Wasserniveau-Ermittlung beeinflussen kann.

Gelöster Sauerstoff: Für genaue Messungen, erwies sich die Methode, die Sonde (**Atlas Scientific DO Sonde**) unter einer ständigen Wasserströmung zu behalten, als am besten geeignet. Um diesen konstanten Wasserdurchfluss zu erzeugen, benutzten wir einige für den Haushaltverbrauch bestimmten Wasserpumpen (Eheim CompactON 300 lph), die einen Durchfluss von 300 lph schaffen. Zusätzlich, bauten wir einen Wasserkreislauf für jede Pumpe auf, damit sich die Sonden, wie oben beschrieben, in einem konstanten Wasserdurchfluss befinden. Das Kreislauf-System samt Sonden schweben auf der Wasseroberfläche. Mit dieser Methode vermieden wir aufwendige Wartungsarbeiten der Wasserpumpen, verursacht von den an der Grundfläche des Wasserbehälters aufgelagerten Feststoffen, die im Rotor der Pumpen steckenblieben.

pH: Die pH-Sonden wurden in das gleiche Kreislauf-System wie die DO-Sonden eingelegt. Da sich die aktive Fläche der Sonden im ständigen Kontakt mit dem Wasserdurchfluss befanden, wurde sie dabei auch von den daran haftenden Feststoffen gereinigt. Wir verwendeten einen **A1005** Umformer, der der pH-Wert über die Sonden liest und ihn in eine Analog-Spannung (0 bis 5 V DC) umwandelt. Dieser Spannungswert wird später durch einen Arduino Nano ausgelesen.

PPFD: Um Messungen von höchstmöglicher Genauigkeit von unseren Lux-Sensoren (BH 1750) zu sichern, bestellten wir Lichtdiffusoren für Fotografielichtgeräte und stellten Styroporgehäuse für den Sensor und Diffusor her. Wir maßen die Helligkeit mit einem professionellen Spektrometer und ermittelten den Umrechnungskoeffizienten zwischen Lux und PPF-D. Wir führten dann diesen Umrechnungskoeffizienten in unser System ein und jetzt können wir zuverlässig den PPF-D im gesamten System lesen. Es gibt einige entscheidende Faktoren, die man beachten muss, wenn der PPF-D mit Hilfe einer erschwinglichen Technologie zu messen ist: die Sensoren selbst, den Abstand zwischen Sensor und

Diffusor, die Lichteigenschaften des Lichtdiffusors und die parallele Einbaulage des Sensors gegenüber der Messfläche.

Nano-Sensorkarte: Wir bauten ein Netz von wireless Sensoren auf. Durch die Benutzung von Arduino Nano - Karten, gestalteten wir eine Nano-Sensorkarte, die außerdem noch einen NRF24L01 (Radio Wireless Transceiver) und einen Basic EZO™ Spannungstrenner von Atlas Scientific beinhaltet. Der Spannungstrenner ist entscheidend für zuverlässige DO-Messungen. Zusätzlich, liest der Arduino die Wassertemperatur mit Hilfe eines **DS18 B20** Sensor aus und kompensiert die DO-Messung damit. Jede Nano-Sensorkarte wurde durch ihr eigenes 5V/1A Netzteil gespeist, sodass eine vollständige galvanische Trennung der Sensoren ermöglicht wurde.

Umgebungsluftfeuchtigkeit und -Temperatur: Mit Hilfe einem **DHT 22** lasen wir die Luftfeuchtigkeit und Temperatur in 6 verschiedenen Punkten des Laborraumes aus. Digitale Sensoren tragen dazu bei, die allgemeine Stabilität des Systems zu verbessern.

4. Die vorläufigen Ergebnisse und Diskussionen.

4.1. Phase I - Goldfische und Spinat auf bodenhaltigem Kultursubstrat

In der ersten Phase des Forschungsprojekts wurden Goldfische und Spinat zusammen gezüchtet. Das System wurde gestartet, indem man in den Bakterientank eine kommerzielle nitrifizierende Bakterie enthaltende Lösung (üblich in der Aquarium-Industrie) hineingab. Nachher wurden die Bakterien mit 1g Fischfutter gefüttert, um auf dieser Art und Weise das Wachstum einzuleiten. Nach 2 Wochen wurden die Fische in das System hineingegeben und das Fütterungsprogramm mit Futtermengen im Verhältnis von 1% ihrer Biomasse begonnen. Nach anderen 2 Wochen wurde die Futtermenge auf 3 % erhöht. Nachdem das optimale Nitrit- Nitrat Verhältnis erreicht wurde, pflanzte man die Pflanzen in die Pflanzschalen. Die Spinatsamen wurden in mit kommerzieller Pflanzerde gefüllte Aufzuchtsschalen gesät. Die Schalen wurden unterhalb der LEDs platziert und regelmäßig mit einer Nährlösung aus dem Aquaponic-System begossen. Die Keimungsrate überschritt 80%. Nach der Ausbildung von zwei Laubblättern, wurde die Erde vom Wurzelsystem unter Wasserstrahl entfernt. Dieses Verfahren erwies sich als schwierig, weil die Pflanzen dabei viel Wurzel-Biomasse verloren und mit situationsbedingtem Stress konfrontiert wurden. Nach Einbettung in das System, stellte man fest, dass die Pflanzen sich nicht mehr weiterentwickelten und das Experiment wurde abgeschlossen.

4.2. Phase II - Karpfen und Spinat in Steinwolle-Substrat 1

In der zweiten Phase, wurde auf die Fischart Karpfen (*Cyprinus carpio*) umgewechselt, da sich aus den erfassten Nährlösung - Daten ergab, dass das System eine höhere Fisch-Biomasse für eine höhere Nährstoffproduktion benötigte. Darüber hinaus, hatten wir einen lokalen Zulieferer, was mit den Zielsetzungen unseres Projekts übereinstimmt. Nach dem Versuch, Spinat auf bodenhaltigem Substrat anzubauen und der großen Herausforderung, die Keimlinge in das System umzusetzen, wurden die Pflanzensamen im Rahmen des zweiten Versuchs direkt in das Steinwolle-Substrat gesät und regelmäßig mit Nährlösung aus dem Aquaponic-System begossen. Auf dieser Art und Weise konnten die Jungpflanzen samt Steinwolle-Substrat direkt in die Pflanzschalen umgesetzt werden. Die Keimungsrate war allerdings niedriger als im vorigen Versuch, was vielleicht dadurch zu erklären ist, dass die Keimfähigkeit der Samen beträchtlich verfallen war im Vergleich mit dem ersten Versuch. Darüber hinaus, konnte man an den

gekeimten Pflanzen sehr verschiedene Entwicklungsphasen erkennen, sodass die für die Vertikalen Farmen typische Einheitlichkeit der Keimung fehlte. Trotzdem wurden die Keimlinge in das System eingeführt und weiter gezüchtet. In den ersten zwei Wochen konnten wir gute Blatt- und Wurzelentwicklung beobachten, aber nachher stellte man Stresserscheinungen und das Aufhören des Wachstums fest. Wegen der beträchtlichen, von den LEDs-Leuchten ausgestrahlten Wärme, der hohen Lichtstärke (250 - 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) und der langen Fotoperiode (16 Stunden), gingen die Pflanzen in das Blühstadium über. Nachdem diese Entwicklung ein paar Tage verfolgt wurde, stellte man den Versuch ein, nachdem sich die ersten Anzeichen der Samenbildungsphase zeigten.



Abbildung 1 Spinat in Woche 2 nach der Umsetzung ins System. Auf der linken Seite eine benutzerdefinierte PCB-Karte für die Sensoren

4.3. Phase III - Karpfen und Spinat auf Steinwolle – Substrat 2

Die dritte Phase wurde aufgrund der in den vorhergehenden Phasen gesammelten Erkenntnisse entworfen. Deshalb wurde Spinat wieder in die Steinwolle gesät, aber eine frische Saatgutpartie wurde eingesetzt, sodass man die Möglichkeit des Verfalls der Keimungsfähigkeit ausschließen konnte. Die Keimung war weniger gut im Vergleich zur Keimung auf dem bodenhaltigen Substrat, aber besser als in der 2. Phase (etwa 60%) Die Karpfen wurden wie zuvor gezüchtet, aber die Fütterung erfolgte nicht automatisch, weil die Fütterungsrate nicht vorsehbar war. Außerdem, wurde die Lichtstärke bei einer der beiden Pflanzschalen um 50% vermindert, um festzustellen, welche Rolle die Lichtstärke beim Wachsen des Spinats spielt. Die Entwicklung des Spinats war ausgezeichnet. Dabei stellte es sich heraus, dass die Pflanzen aus der Pflanzschale mit der um 50% schwächeren Beleuchtung überraschungsweise besser gediehen, als die aus den Pflanzschalen mit der Beleuchtung mit höherer Lichtstärke.

Trotzdem entwickelte sich der Spinat, aus unbekanntem Gründen, nicht mehr nach der dritten Woche. Gleichwohl war unser Ziel, herauszufinden, wie man die Nährfaktoren mit anderen, in der Automation kontrollierbaren Parameter verbinden kann, sodass alle Messungen durchgeführt wurden, bis der Versuch abgeschlossen war.

Nachfolgend werden sie kurz beschrieben.



Abb. 2 Spinat wächst in den beiden Pflanzschalen. Die obere Schale wird von einer LED-Zeile, die untere von zwei parallelen LED-Zeilen beleuchtet, sodass Beleuchtung mit verschiedenen Lichtstärken erzielt werden.

4.3.1. Pflanzenwachstum

Der Spinat wurde in Steinwolle bis zur Entwicklung der ersten Blätter gezüchtet. Dann wurden die Jungpflanzen samt Steinwollwürfel in die Kühlen der Pflanzschalen beliebig versetzt. Man pflanzte etwa 300 Jungpflanzen per Pflanzschale. Die Wurzeln auf der Unterseite der Würfel waren sichtbar und so kamen sie in Berührung mit der Nährlösung. Es wurden morphologische Messungen, wie z.B., Stengellänge, Anzahl und Oberfläche der Blätter, Knotenabstand /Internodiumlänge, SPAD (Chlorophyllgehalt) wöchentlich durchgeführt.

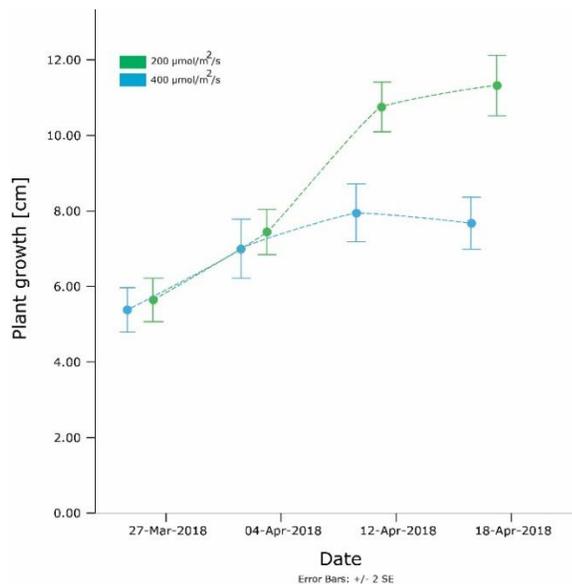


Abb. 3 Pflanzenwachstum des Spinats im Laufe des Vegetationszyklus in der 1. und der 2. Pflanzschale

Die in der zweiten Pflanzschale gezüchteten Pflanzen waren nicht wesentlich größer als die in der ersten Pflanzschale, aber da gibt es nennenswerte Unterschiede. Bis zur Hälfte des Vegetationszyklus, war der Ertrag unter der Beleuchtung mit beiden Lichtstärken quasi gleich, aber nach der zweiten Woche wurde in der zweiten Pflanzschale (mit der geringeren Lichtstärke) eine bessere Entwicklung festgestellt. Diese Schlussfolgerung widerspricht unseren Erwartungen, aber sie beweist was für ein Licht Spinat für gute Entwicklung benötigt. Zuviel Licht ist für Spinat ein Stressfaktor und verlangsamt sein Wachstum. Die Ergebnisse der 5. Woche werden nicht gezeigt, weil die Pflanzen nach der 4. Woche aufhörten zu wachsen und eingingen. Diese Entwicklung kam uns merkwürdig vor, da keine großen Unterschiede in der Nährlösung oder in den Umwelt-Parameter bestanden. Infolgedessen wurde der Versuch nach der 4. Woche abgeschlossen.

4.3.2. Qualität der Pflanzen

Analysen von Vitamin C, Flavonoide und Beta-Carotinoide wurden mit Hilfe von HPLC-Ausrüstung und der Standardprotokolle mit derselben Häufigkeit wie die für die Pflanzenentwicklung durchgeführt.

Vitamin C und Flavonoid-Bestimmungen

Die Vitamin C – Bestimmungen wurden mit einem HPLC Agilent System 1200 durchgeführt, der mit folgenden Vorrichtungen ausgerüstet war: eine quaternäre Pumpe, Entgaser für die Lösungsmittel, Autosampler/Probengeber und ein UV-VIS Detector mit Photodiode (DAD) gekoppelt mit einem Massenspektrometer (MS) Single Quadrupole Agilent Modell 6110 (Agilent Technologies Ca, USA). Die Verbindungsseparatoren wurden mit Hilfe eines Column Eclipse SDB C18, mit den Dimensionen 4,6x150mm mit 5µm Partikeln hergestellt (Agilent Technologies Ca, USA), wobei die mobilen Phasen A und B je 30 Minuten lang, bei einer Temperatur von 250 Grad C und einem Durchfluss von 0,5 ml/min verwendet wurden. Lösungsmittel A: Wasser + 0,1% Säure Essigsäure. Lösungsmittel B: Acetonitril + 0,1 % Essigsäure. Gradient (%B) 0 Min., 5% B; 0-2 Min., 5% B; 2-18 Min., 5% -40% B; 18-20 min, 40%-90% B; 20-24 min., 90 % B; 24-25 min., 90% -5% B; 25-30 min., 5% b. Die Spektralwerte wurden auf 200-600 nm für alle Peaks registriert. Die Chromatogramme wurden bei $\lambda = 340$ nm registriert.

Carotinoid-Bestimmungen

Die HPLC Analysen der einzelnen Carotinoide wurden mit einem Agilent 1200 System mit DAD Detector (Agilent Technologies Ca, USA) durchgeführt, wobei ein Reversed Phase EC 250/4.6 Nucleodur 300-5 C-18 Column (250x4,6mm), 5 µm (Macherey-Nagel, Deutschland) verwendet wurde. Die mobile Phase bestand aus Gemischen von Acetonitril: Wasser (9:1, v/v) mit 0,25% Triethylamin (A) und Ethylacetat mit 0,25 Triethylamin (B). Der Gradient begann mit 90% A bei 0 Min, und erreichte 50% bei 10 Min. Der Prozentsatz von A sank von 50% bei 10 Min. bis auf 10% bei 20 Min. Die Durchflussrate betrug 1ml/min und das Chromatogramm wurde bei 450 nm aufgenommen. Die HPLC –Peaks wurden mit Hilfe der Carotinoiden Standards bestimmt (Pintea et al., 2005).

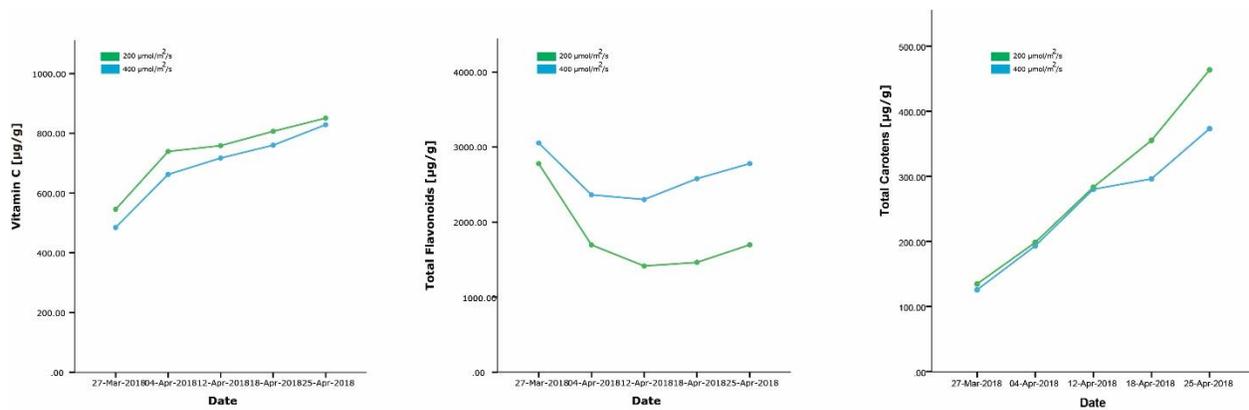


Abb.4 Bioaktive Substanzen im Spinat im Laufe des Vegetationszyklus

Es gibt große Unterschiede in der Pflanzenqualität, die von der Art, Umweltparameter und Ereignissen während des Vegetationszyklus abhängen. Pflanzenzucht in einer kontrollierten Umgebung verhilft uns zu einer besseren Erkenntnis der Pflanzenqualität. Durch die Beobachtungen der wöchentlichen Proben konnte man erkennen, wie sich die bioaktiven Substanzen auf- und abbauen, und man konnte die Punkte erkennen, die uns zukünftig erlauben werden, den Höhepunkt der Erntezeit zu identifizieren, wenn nicht nur die Produktion hoch ist, sondern auch die Pflanzenqualität stimmt.

Drei mit der Pflanzenqualität eng verbundene Verbindungen wurden gezielt überprüft: Vitamin C Flavonoide (hier Gesamtflavonoidgehalt) und Carotinoide (Gesamtcarotinoidgehalt). Wie aus dem oben angeführten Bericht ersichtlich, waren die Muster dieser Metaboliten (Stoffwechselprodukte), sowie die Ergebnisse, je nach den beiden angewandten Lichtstärken, unterschiedlich.

Vitamin C ist das bekannteste Stoffwechselprodukt, das den Verbraucher am meisten anspricht. Die Unterschiede zwischen den beiden Spinatarten waren klein und unbedeutend, obwohl die Vitamin- C-Konzentration in dem mit niedrigerer Lichtstärke beleuchteten Spinat leicht höher war. Dieses Ergebnis beweist, dass die Pflanzen nicht unbedingt höhere Qualitäten unter Treibkultur-Umständen entwickeln.

Andererseits, wurden im Falle der Flavonoide eine entgegengesetzte Entwicklung festgestellt. Die mit höherer Lichtstärke beleuchteten Pflanzen wiesen eine höhere Konzentration der Metaboliten als die anderen auf. Darüber hinaus, während der Vitamin C-Gehalt ständig im Laufe des Vegetationszyklus anstieg, wies der Kurvenverlauf im Flavonoide-Diagramm eine U-Form auf, d. h., eine hohe Konzentration nach der Einführung ins System, die dann in den nächsten Wochen stetig abfiel, mit einer kleiner Erhöhung gegen das Ende der Versuchsperiode.

Das Carotinoideendiagramm wies einen dem Vitamin C ähnlichen Konzentrationsmuster auf. Dieser Metabolit korrelierte mit dem Ertrag, was nicht der Fall für die anderen beiden Stoffwechselprodukte war. In der ersten Woche wiesen die beiden Spinatarten fast dieselbe Carotinoide-Konzentration auf, wobei später, wie aus dem obigen Produktionsdiagramm ersichtlich, eine höhere Konzentration in den mit niedrigerer Lichtstärke gezüchteten Pflanzen festgestellt wurde.

Diese Ergebnisse werden mit den anderen, von den Sensoren erfassten Daten im Zusammenhang gebracht, um Ereignisse und Muster zu erkennen, die uns zur Identifikation der Ursachen dieser Veränderungen führen können. Die vorläufigen Ergebnisse haben gezeigt, wie ungemein schwierig die Beurteilung der qualitativen Pflanzenaspekte ist und bestätigt die Bedeutung der Studie. Die menschliche

Fähigkeit, die Komplexität solcher Ökosysteme zu begreifen, ist begrenzt und kann unmöglich alle Daten und Zusammenhänge verknüpfen. Mit dieser Untersuchung wird versucht, die Notwendigkeit der Einführung von Machine Learning in die Agrarwirtschaft zu beweisen. Dadurch kann man dem wichtigsten Erfordernis in diesem Bereich gerecht werden: die Vorhersage des Höhepunkts der Erntezeit, wenn der Verbraucher die höchste Konzentration an hochwertigen Nährstoffen bekommen kann.

4.3.3. Nährlösungen

Für eine optimale Produktion von Blattgrün, gilt in einem Aquaponic-System die Faustregel, dass man für die Konversion zu Nährstoffen für die Pflanzen eine Futtermenge von $20\text{g}/\text{m}^2/\text{Tag}$ sichern muss. Davon ergibt sich, dass für unser System die Futtermenge von $60\text{g}/\text{Tag}$ notwendig ist, was weiter bedeutet, dass die Fische täglich mit etwas mehr als 3% ihrer Körpermaße gefüttert werden müssen. In einem komplexen Ökosystem, wo wenigstens drei Arten von Organismen zusammen gedeihen, ist die Bestimmung dieses Verhältnisses eine schwierige Aufgabe. Deshalb kann dabei die Erfassung umfangreicher Datensätze sinnvoll sein. Allerdings können die spezifischen Ionen der Nährlösung nur in Labors analysiert werden, was sehr kostspielig ist; andererseits kann man mit den eingesetzten Sensoren nur den pH-Wert, die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit EC und die Menge des gelösten Sauerstoffs erfassen. Laboranalysen wurden außerdem für die Bestimmung der Nitrit- und Nitratmengen durchgeführt, um so den Nitrifizierungsprozess in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Fütterung der Fische zu verfolgen.

Wie aus der Infografik unten ersichtlich, waren die Nitrit -und Nitratmengen in den Tanks nicht unterschiedlich. Dieser Umstand steht im Zusammenhang mit der Tatsache, dass das System als geschlossenes Kreislaufsystem gestaltet wurde, indem die Wasserströmung eine komplette Runde in durchschnittlich 20-40 Minuten durchfließt. Um die Wechselbeziehung zwischen Nitrit- und Nitratmengen besser zu verstehen, haben wir beschlossen, zukünftig ein entkoppeltes System aufzubauen.

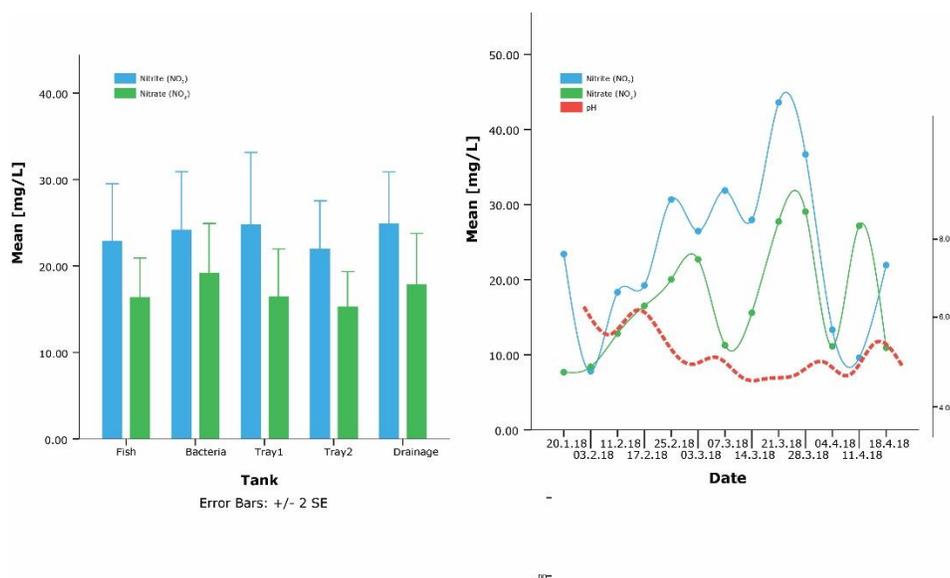


Abb. 5 Nitrit- und Nitratmengen in den verschiedenen Behältern und ihre Dynamik während des Vegetationszyklus des Spinats

An den Verlaufskurven der beiden Stickstoffverbindungen, erkannten wir ein interessantes Muster. Für das Projekt ist Nitrat wichtig, weil es für Fische nicht schädlich und für die Pflanzen eine gute Nährstoffquelle ist. Die Verlaufskurve wies viele Schwankungen auf, bis sich das System schließlich

ausglich. Nachdem aber das System gereinigt wurde, stellten wir große Unterschiede fest, die darauf zurückzuführen sind, dass beim Reinigen des Systems die Bakterienpopulation gestört wurde. Regelmäßige Wartung ist notwendig, damit der Standort der Sensoren sauber erhalten wird, aber dieser Eingriff wirkt sich auf den Nitrifizierungsvorgang aus. Darüber hinaus, als die Pflanzen in das System eingeführt wurden, stellten wir eine Verminderung der Menge der beiden Verbindungen im Wasser fest, was sich dadurch erklären lässt, dass die Pflanzen sich wie Filter verhalten, die Minerale aus der Nährlösung aufnehmen. Schließlich zeigt die Verlaufskurve des pH-Wertes, wie dieser den Nitrifizierungsvorgang beeinflusst. Die nitrifizierenden Bakterien gedeihen ausgezeichnet bei höheren pH-Werten, aber der pH-Wert der gegebenen Nährlösung war so niedrig, dass das Wachstum der Bakterien nicht angeregt wurde. Kein Eingriff auf den pH-Wert wurde vorgenommen, weil das die Datenerfassung beeinflussen konnte. Trotz des außerordentlich niedrigen pH-Werts, wurden keine Nährstoffmängel an den Pflanzen festgestellt und die Fische ernährten sich gut. Wir führen mit der nächsten Wiederholung des Arbeitsablaufs fort, auf Basis von dem vorherig erstellten Ökosystem.

Im Rahmen dieser Wiederholung, wurden andere Pflanzenarten, und zwar, Basilikum und Kopfsalat gepflanzt, um festzustellen, ob der Spinatanbau besondere Schwierigkeiten bereitet oder ob die gegebenen Parameter nicht für alle Blattgrünarten optimal sind. Diese Entscheidung erwies sich als richtig, da alle Basilikum- und Kopfsalatpflanzen ausgezeichnet bis zum Erntezeitpunkt gediehen. Nachher entschieden wir uns für den Anbau von Basilikum (*Ocimum basilicum*).

4.4. Phase IV - Karpfen und Basilikum auf Steinwolle-Substrat 2

Basilikum wurde genauso wie Spinat im vorigen Versuch angebaut. Die Samen, wurden in Steinwollewürfel, und zwar, 3-5 Samen/ Würfel, gesät. Diese wurden dann in mit Wasser aus dem System gefüllte Schalen gestellt. Nachdem die Keimlinge die ersten echten Blätter entwickelten, wurden die Pflanzen in die Mulden der Pflanzschalen umgesetzt und man betrachtete das Experiment als gestartet. Jede Woche wurden die morphologischen Merkmale beobachtet und Stichproben für die chemischen Analysen aus beiden Pflanzschalen entnommen. Im System wurden im Laufe aller Experimente ununterbrochen Fische gezüchtet, sodass, nachdem die Pflanzen in das System eingeführt wurden, es zum Ausgleich kam.

4.4.1. Pflanzenwachstum

Im Laufe des gesamten Vegetationszyklus des Basilikums, haben wir biometrische Messungen vorgenommen, um festzustellen, ob es Unterschiede in der Entwicklung der Pflanzen und in ihren Merkmalen gibt, wie z.B., Stengellänge, Blattfläche, Wurzellänge oder SPAD-Index. Es wurde hinsichtlich aller biometrischen Merkmale beobachtet, dass sie bei den unter stärkerer Beleuchtung angebauten Pflanzen besser entwickelt waren.

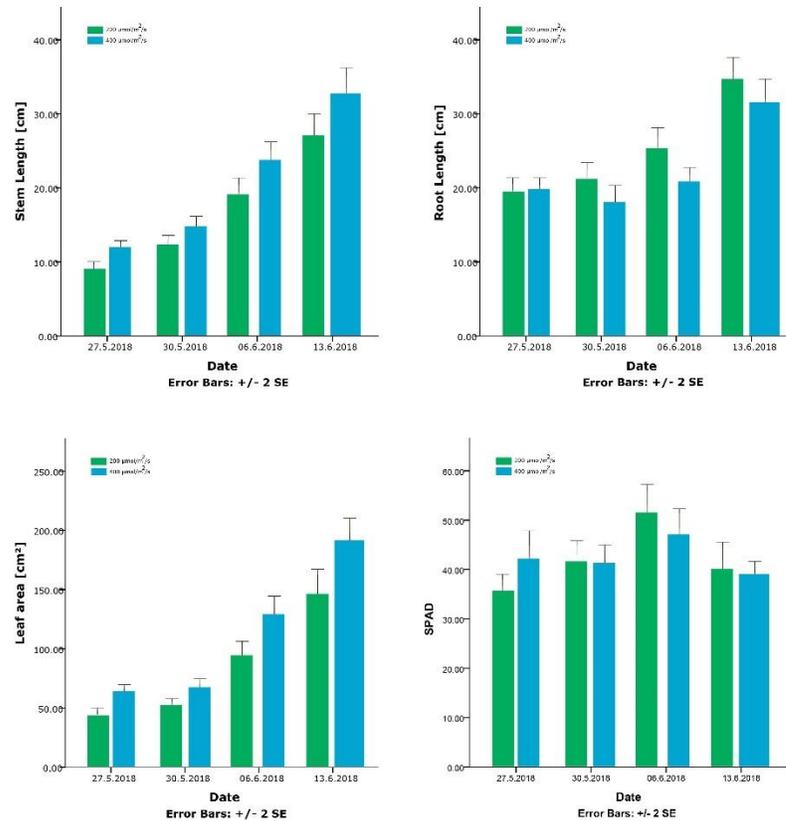


Abb. 6 Morphologische Merkmale der Pflanzen im Laufe des Vegetationszyklus bei zwei verschieden starken Beleuchtungen

Wie angenommen, waren die unter der 400 µmol/m²/s Beleuchtung wachsenden Pflanzen größer, und, wie sich später herausstellen wird, brachten höhere Erträge ein. Wie auch immer, war der Unterschied statistisch nicht relevant.

Tabelle 1 Morphologische Merkmale der Pflanzen, Buchstaben weisen auf relevanten Unterschiede hin.

	Stengellänge [cm]	Wurzellänge [cm]	Blattfläche [cm²]	SPAD
400 µmol/m²/s	20.80±9.61 ^a	22.63 ± 7.16 ^a	113.24±59.66 ^a	42.39±10.30 ^a
200µmol/m²/s	16.95±8.12 ^a	25.13±8.08 ^a	84.24±9.55 ^b	42.27±11.95 ^a

Die Wurzeln entwickelten sich auf ähnlicher Weise, ohne relevante Unterschiede, trotzdem wiesen die unter schwächerer Beleuchtung wachsenden Pflanzen größere Wurzeln auf. Diese Entwicklung lässt sich auf Grund des Zufälligkeitscharakters der Wurzellänge und nicht unbedingt im Zusammenhang mit den hier beobachteten Umgebungsparameter erklären. Die Blattfläche der Pflanzen, die stärkeres Licht aufnahmen, erwies sich als viel größer. Die Pflanzen reagieren objektiv auf die gegebenen Umgebungsbedingungen und entwickeln zur Anpassung größere Blätter. So wurde auch allgemein das Wachstum gefördert. Interessanterweise aber, war der SPAD-Index, der mit dem Chlorophyll-Gehalt der Blätter im Zusammenhang steht, fast identisch für die Pflanzen aus beiden Pflanzschalen.

Im Erntezeitpunkt wurde die frische Biomasse der Pflanzen abgewogen. Die Ergebnisse wiesen darauf hin, dass die Pflanzen aus der unter stärkerem Licht stehenden Pflanzschale durchschnittlich 31.41 ± 13.24 g frische Biomasse hatten, im Vergleich zu 15.27 ± 5.67 g in der anderen Pflanzschale, also fast das Doppelte. Um eine genaue Beschreibung der Ernte zu erzielen, wurden die Pflanzen in kontrollierter Umgebung bei Raumtemperatur ohne direktes Sonnenlicht getrocknet. Als dieser Vorgang zu Ende ging, wogen wir die Gesamt-Trockenmasse und führten, zur Erfassung der genauen Trockenmasse, auch eine Wassergehalt-Bestimmung im Labor durch. Zu diesem Zweck, entnahmen wir 1g Trockenmasse aus dem Blatt- und Stengelbereich sowie auch aus dem Wurzelbereich, und stellten die Probe in den Ofen, bis die Masse konstant blieb. In diesem Zeitpunkt, ermittelten wir, durch Berechnung der Massendifferenz zwischen dem Anfangspunkt und dem Endpunkt, den Wassergehalt in den Stichproben.

Tabelle 2 Bestimmung der Trockensubstanz in der Trockenmasse der Pflanzen

Probe	Wiederholung	Masse des trockenen Fläschchens	Probe (g)	Trockene s Fläschchen + Probe (g)	Letzte Auslesung (g)	Feuchtigkeit (%)	Trockenmasse (%)	Gesamt-Feuchtigkeit (%)	Gesamt-Trockenmasse (in %)
Pflanzschale 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	R1.1	60.4078	1.0068	61.4146	61.2333	18.0075	81.9925	20.91	79.09
	R1.2	55.6854	1.0006	56.6860	56.4673	21.8569	78.1431		
	R1.3	64.2515	1.0024	65.2539	65.0443	20.9098	79.0902		
Wurzelschale 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	R1.1	65.5296	1.0061	66.5357	66.4048	13.0106	86.9894	13.09	86.91
	R1.2	60.7436	1.0000	61.7436	61.6127	13.0900	86.9100		
	R1.3	55.1495	1.0001	56.1496	56.0145	13.5086	86.4914		
Pflanzschale 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	R1.1	65.1691	1.0036	66.1727	65.9888	18.3240	81.6760	18.22	81.78
	R1.2	58.7312	1.0050	59.7362	59.5594	17.5920	82.4080		
	R1.3	65.6929	1.0022	66.6951	66.5125	18.2199	81.7801		
Wurzelschale 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	R1.1	58.0920	1.0010	59.0930	58.9658	12.7073	87.2927	12.71	87,29
	R1.2	50.6261	1.0037	51.6298	51.5023	12.7030	87.2970		
	R1.3	59.0065	1.0013	60.0078	59.8785	12.9132	87.0868		

Vom Wassergehalt –Prozentsatz ausgehend, kann man diesen Wert auf den Rest der Trockenmasse hochrechnen. So ergibt sich ein Ertrag von $102.15 \text{ g}/\text{m}^2$ Blatt- und Stengelmasse und $13,67 \text{ g}/\text{m}^2$ Wurzelmasse von der mit $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ Lichtstärke beleuchteten Pflanzschale, verglichen mit dem Ertrag von $51,54 \text{ g}/\text{m}^2$ Blatt -und Stengelmasse und $7,04 \text{ g}/\text{m}^2$ Wurzelmasse von der mit $200 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{s}$ Lichtstärke beleuchteten Pflanzschale. Daraus ist klar ersichtlich, dass stärkeres Licht größere Erträge einbringt, aber der Schwerpunkt unseres Projekts war nicht die Ertragserhöhung, sondern die Verbesserung der Pflanzenqualität. Doppelte Lichtstärke bewirkt einen höheren Energieverbrauch, was mit dem Ziel der wirtschaftlichen Nachhaltigkeit der Nahrungsmittelproduktion nicht übereinstimmt.

4.4.2. Pflanzenqualität

Wie vorher erklärt, haben die Erträge bewiesen, dass die höhere Lichtstärke höhere Basilikum-Erträge bewirkte. Aber man führte auch chemische Analysen durch, um festzustellen, wie die Pflanzenqualität-Parameter, wie z.B., Vitamin C, Carotinoide und Phenolsäuren, von den beiden Lichtstärken im Aquaponic –System beeinflusst werden. Die während des gesamten Vegetationszyklus gesammelten Daten wurden aufmerksam durchsucht, um relevante Zusammenhänge zu finden, die bei der Implementierung der Automatisierung zur Verbesserung der Pflanzenqualität behilflich sein können.

Wir haben die letzten Ergebnisse in derselben Woche erhalten, als wir dabei waren, diesen Bericht zu erstellen. Obwohl das Protokoll der statistischen Datenanalyse schon durchgeführt wurde, werden wir erst in den folgenden Wochen die tiefgehende Analyse dieser Ergebnisse unter Berücksichtigung der Gesamtheit der bislang gesammelten Gegebenheiten durchführen. Allerdings ist hier zu erwähnen, dass diese Ergebnisse höchst relevant, in Bezug auf die Zielsetzung dieses Projekts sind. Die Resultate wurden als Gesamtmenge von bioaktiven Substanzen betrachtet, ohne die Biomasse zu berücksichtigen, was die Datendeutung beeinflussen könnte. In den nächsten Phasen des Projekts wird eine ausführliche Analyse vorgenommen werden.

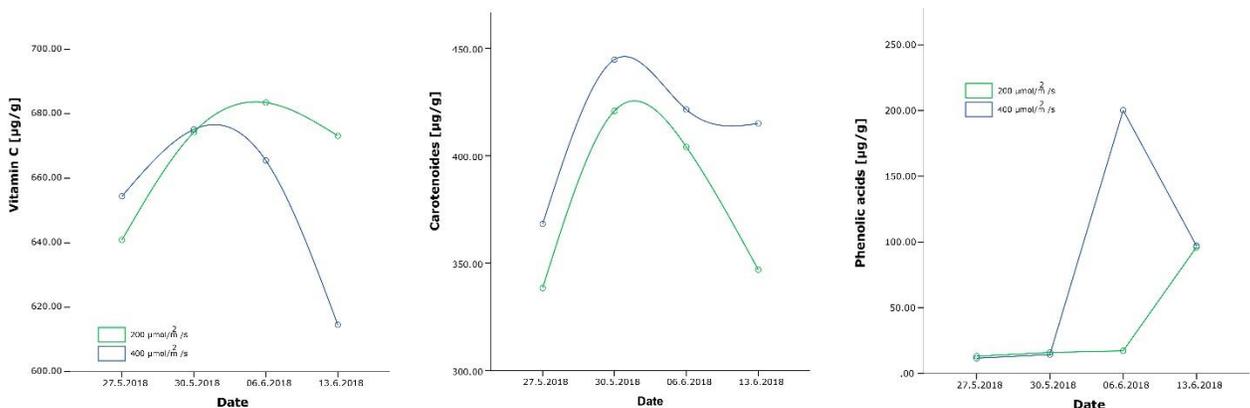


Abb. 7 Pflanzenqualität (Vitamin C, Carotinoide, Phenolsäuren) im Laufe des Vegetationszyklus

Vitamin C

Das Protokoll zur Bestimmung des Vitamin C-Gehalts wurde genauso wie beim Spinat durchgeführt. Extraktion wurde wie folgt vorgenommen: 1 g Basilikum wurde in 5 ml flüssige Lösung von 3% metaphosphorische Säure +8 % Essigsäure durch 39-minütige Verwirbelung, 15-minütige Beschallung und 10-minütiges Schleudern mit 3000 Rotationen/Minute extrahiert. Der Überstand wurde durch einen 45 m Kunststofffilter gefiltert und in das Agilent 1200 System eingespritzt.

Beide Einrichtungen mit den verschiedenen starken Beleuchtungen veranlassten dasselbe Verhalten der Pflanzen, hinsichtlich des Vitamins C-Bildung. In der zweiten Woche, nachdem die Keimlinge in die Pflanzschalen umgepflanzt wurden, stellte man bei ihnen denselben Vitamin C-Gehalt fest. Diese Tatsache beweist, dass stärkeres Licht, dass mit größeren Kosten und einem höheren Kohlenstoffausstoß verbunden ist, nicht unbedingt die Pflanzenqualität im denselben Maße wie den Ertrag verbessert. Der Vitamin C-Gehalt beider Pflanzenkategorien zeigte denselben Kurvenverlauf, und zwar, eine Gaußsche Glockenkurve, wobei der höchste Vitamin-Gehalt in der zweiten und dritten Woche belegt wurde, gefolgt

von einem beträchtlichen Abfall. Diese Ergebnisse beweisen, dass der optimale Erntezeitpunkt verschieden sein kann, je nach Zielsetzung des Anbaus: hohe Pflanzenqualität oder hoher Ertrag. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass der Vitamin C – Gehalt, bei den unter stärkerem Licht angebauten Pflanzen, einen steileren Abfall zeigte.

Carotinoide

Dasselbe Protokoll für Extraktion und Bestimmung des Carotinoiden- Gehalts, wie vorher bei Spinat beschrieben, wurde auch bei Basilikum angewandt. Drei Typen von Carotinoiden wurden bestimmt, und zwar, Lutein, Zeaxantin und β -Carotin. Aber, um den Bericht einfacher zu halten, wird hier nur den Gesamt-Carotinoiden-Gehalt berücksichtigt, wobei wir vorhaben, die kompletten Daten in wissenschaftliche Zeitschriften zu veröffentlichen.

Dieselbe Entwicklung wie bei Vitamin C wurde auch beim Gesamt-Carotinoiden-Gehalt festgestellt, was dem Bauern hilft, den optimalen Erntezeitpunkt im Voraus zu bestimmen und so dem Verbraucher die nahrhaftesten Pflanzen zu liefern. Aber Im Gegensatz zu den Feststellungen bei Vitamin C, stellte man in der vierten Woche bei den mit schwächerem Licht beleuchteten Pflanzen einen steileren Abfall des Gesamt-Carotinoiden-Gehalt im Vergleich zum Gehalt der Pflanzen aus der anderen Kategorie fest. Die Glockenform der Verlaufskurve, die die Dynamik des Carotinoidengehalts der Pflanzen aus der ersten Kategorie beschreibt, war fast perfekt, da diese im Erntezeitpunkt die gleiche Konzentration von Carotinoiden hatten wie in der 1. Woche.

Hier soll noch erwähnt werden, dass die zweite und dritte Woche auch für die Fischzucht am besten ausfiel, da sie sich in dieser Zeitspanne am besten ernährten, sodass die Entwicklung der bioaktiven Substanzen theoretisch auch mit anderen Faktoren korreliert werden könnte, was später ausführlich erörtert werden wird.

Phenolsäuren

Zur Bestimmung der Phenolsäuren, wurde ein HPLC Agilent gekoppelt an ein MS Single Quadrupole Agilent, Modell 6110 (Agilent Technologies, Ca, USA). Die Separation der Verbindungen wurde mit Hilfe eines EclipseXDB C18 Column, mit den Dimensionen 4,6x50mm mit 5 μ m Partikeln, unter Benutzung von der mobilen Phasen A und B in dem unten angeführten Gradient bei 25 Grad C Temperatur und mit einer Durchflussrate von 0,5 ml/min.

Lösemittel A: Wasser +0,1% Essigsäure

Lösemittel B: Acenotril +0,1 Essigsäure

Gradient (% B): 0 Min., 5% B; 0-2 Minuten, 5 % B, 2-18 Minuten, 5%-40% B, 18-20 Minuten 40%-90% B, 20-24 Minuten 90% B; 24-25 Minuten, 90 % - 5 % B; 25-30 Minuten, 5% B.

Für den MS wurde das ESI- Modul wie folgt benutzt:

- Kapillare-Spannung: 3000 V

- Temperatur: 3500 C

- N-Durchfluss: 8 l/min.

- M/z: 100-1200, Full-scan

Die Datenerfassung- und Deutung wurde mit Hilfe der Agilent ChemStation Software durchgeführt.

Etliche Phenolsäuren wurden bestimmt, wie z.B., Kaffeesäure, Zichoriensäure, Zimtsäure-Derivat und Rosmarinsäure, aber in diesem Bericht werden wir uns auf den Gesamt-Phenolsäuren-Gehalt beziehen.

Das Verfahren wurde zweimal wiederholt, weil die Extraktionen unzuverlässliche Daten lieferten. Für die zukünftigen Analysen werden wir die Proben aus mehr Biomasse entnehmen, um so eine höhere Zuverlässigkeit der Analysen zu sichern. Dieser Aspekt muss in der Deutung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Die Resultate waren unerwartet, im Sinne, dass beide Kategorien von Basilikum, d.h., unter stärkerer und schwächerer Beleuchtung angebauten Pflanzen, fast dieselbe Konzentration von Gesamt-Phenolsäuren, mit Ausnahme der 3.Woche, aufwiesen. In diesem Zeitpunkt stellte man bei den mit schwächerer Beleuchtung angebauten Pflanzen einen viel höheren Phenolsäuren-Gehalt fest. Dann aber vor dem Erntezeitpunkt, stellte man wieder identische Werte bei den beiden Kategorien von Pflanzen fest. Diese Entwicklung kann auf einen Messfehler oder auf ein nicht aufgezeichnetes Ereignis zurückgeführt werden, sonst lässt sie sich nicht erklären.

Allerdings sollte man hier hervorheben, dass die Phenolsäuren-Konzentration im Laufe des gesamten Vegetationszyklus sehr ähnlich, fast identisch blieb. Das bedeutet, dass Lichtstärke diesen Parameter wenig beeinflusst, sodass diese Schlussfolgerung die Option für einen niedrigeren Energieverbrauch und somit für den nachhaltigen kontrollierten Pflanzbau zusätzlich belegt.

4.4.3. Nährlösungen

Nährlösungen hängen von dem Verhalten der Fische ab. Da sie sich nicht konstant ernährten, musste das Team die Futtermengen und die Perioden immer wieder anpassen, um zu verhindern, dass das Wasser durch die Futterreste verseucht wird. Das war keine Leichtes, weil sich das Ganze zu einem Teufelskreis verwandelte: wenn sich die Fische nicht genügend ernährten, sank die Wasserqualität, was die Fische veranlasste, sich nicht so gut zu ernähren. In der 2.und 3. Woche des Versuchs war das Ökosystem im Ausgleich und hat selbstständig, mit wenigem Eingriff von außerhalb, funktioniert.

Die Systemsensoren lasen die Daten nicht immer genau ab, sodass wir die Sensordaten auch manuell erfassen mussten, um uns über die Genauigkeit der Daten zu vergewissern. So sicherten wir uns genaue Daten, aber wir hatten auch die Möglichkeit, regelmäßig Fehler zu suchen und sie rechtzeitig zu beheben, und auch Verbesserungen des Automatisierungssystems vorzunehmen.

Wasserqualität-Parameter

An allen Behältern wurden Messungen vorgenommen und Daten von den Sensoren erfasst. Unser Ziel war festzustellen, ob bedeutende Unterschiede hinsichtlich der Wasserparameter zwischen den Behältern bestehen.

In Bezug auf die Elektrische Leitfähigkeit (EC) und den Anteil von gelösten Stoffe (TDS), die wichtige Parameter in konventionellen Aquaponic-Systeme sind, haben wir wenige Schwankungen der Parameterwerte im Laufe des Vegetationszyklus und nur eine kleine Verbesserung in den letzten Phasen der Pflanzenentwicklung beobachtet. Wenn wir die Effizienz der Fische als Nährstoff-Erzeuger nur

anhand der Wasserparameter beurteilen sollten, müssten wir schlussfolgern, dass die Pflanzen an Nährstoffmangel leiden.

Tabelle 3 Wasserqualität-Parameter im Laufe des Vegetationszyklus

	PH	Total gelöste Feststoffe [mg/l]	Elektrische Leitfähigkeit [mS/cm]	Gelöster Sauerstoff [mg/l]	Temperatur °C
Fish Tank	5.27 ± 0.69	0,31 ± 0,06	0,62 ± 0,12	7.43 ± 1.15	22.05 ± 1.15
Bakterien Tank	5,26 ± 0,73	0,31 ± 0,06	0,61 ± 0,12	7.51 ± 1.12	21.73 ± 1.41
Pflanzschale 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	5,56 ± 0,72	0,31 ± 0,05	0,62 ± 0,12	6,40 ± 1,43	21,95 ± 1,74
Pflanzschale 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	5,25 ± 0,72	0,31 ± 0,06	0,62 ± 0,12	6.27 ± 1.39	21.78 ± 1.61
Entwässerungstank	5,28 ± 0,77	0,30 ± 0,06	0,61 ± 0,12	7,53 ± 1,00	21,67 ± 1,55

Allerdings messen die beiden Parameter TSD und EC eher die anorganischen und kaum die organischen Komponenten. In einem Aquaponic- System, kommen die Nährstoffe in Form von NO_3 und von anderen Verbindungen, wie z.B., Phosphate u.a. vor, die wahrscheinlich von den Sensoren nicht erkannt werden. Die Nährstoffanalyse wurde dann im Labor zur Bestimmung der Umwandlungsraten mit spezifischen Instrumenten vorgenommen.

Der pH-Wert beeinträchtigt die Effizienz des Systems. Die Schwierigkeit besteht darin, dass jeder Organismus im System in einem anderen pH-Wert Bereich gut gedeiht. Karpfen braucht einen pH-Wert von ungefähr 7, während die nitrifizierenden Bakterien ungefähr 8. Die Pflanzen nehmen die Nährstoffe am besten bei einem pH-Wert der Nährlösung von 5,5 -6,5 auf. In konventionellen Anlagen, wird der pH-Wert immer auf Grund dieser Faustregel für jede Art abgestimmt. In der Natur aber funktionieren die Dinge nicht so. Da aber unser Projekt sich eher neue Erkenntnisse als höhere Erträge im Aquaponic – System als Ziel gesetzt hat, wurde der Entschluss gefasst, nicht in den Bereich des pH-Wertes einzugreifen. Wir haben bloß die pH-Wert -Dynamik beobachtet und die Wechselwirkungen mit den anderen Komponenten des Systems aufgezeichnet.

Das System funktionierte sehr gut im Laufe des gesamten Vegetationszyklus des Basilikums. Sowohl das Basilikum, als auch die Fische entwickelten sich ausgezeichnet, ins besonders in der 2. und 3. Woche. Manchmal zeigten die Fische Stress-Anzeigen, indem sie im Wasser herumsprangen, was wahrscheinlich auf den niedrigen pH-Wert im Bereich von 5 zurückzuführen ist, doch die Pflanzen entwickelten sich weiter gut. Der pH-Wert war niedriger als der Normalwert und in den künftigen Schritten muss man in dieser Hinsicht einige Entscheidungen zur Regelung dieses Aspekts treffen. Zum einem, kann man Fischarten züchten, die bei einem niedrigen pH-Wert gut gedeihen, und so eine neue Faustregel für unser System hinsichtlich des optimalen pH-Wert-Bereiches aufstellen. Zum anderen, können wir einige Komponenten unseres Systems neugestalten, so dass sie entkoppelt werden können, was uns erlauben wird, einen für alle Organismen günstigeren pH-Wert- Bereich in unser System mit Hilfe von Puffern beizubehalten.

Die Wassertemperatur in allen Behältern blieb recht konstant und im optimalen Bereich für Fische, Bakterien und Pflanzen. Die einzige Anpassung, die wir noch unternehmen müssen, ist die Möglichkeit, die Temperatur zu ändern, sollten wir Fische einbeziehen, die höhere Temperaturen

erfordern. In solch einem Fall, müssten wir auch Puffer einbauen, um die entsprechende niedrigere Wassertemperatur für die Pflanzenwurzeln zu sichern.

Für die Effizienz des Systems spielt die Menge des gelösten Sauerstoffs eine genau so wichtige Rolle wie der pH-Wert. Luftpumpen wurden zur Verbesserung der Luft im Fischtank und im Bakterientank eingesetzt. Die Menge des gelösten Sauerstoffs wurde auch von den Pumpen, der Wasserströmung und dem Wasservolumen beeinflusst. Da eine komplette Runde des Wasserkreislaufs nicht lange dauert, und zwar 10 -20 Minuten, wird die Sauerstoffmenge im Wasser nicht so bald aufgebraucht.

Die Messungen zeigen an, dass die Menge des gelösten Sauerstoffs beständig über 7 betrug, was optimal für alle Organismen ist, mit einem niedrigerem Wert nur in den Pflanzschalen. Dieser Unterschied ist auf den Umstand zurückzuführen, dass in den Pflanzschalen die Wasserströmung, wegen der ungenügenden Entwässerung und der separaten Rohre, langsam ist. Daher aber ist die Nährstoffzufuhr zu den Wurzeln hin umso effektiver, auch wenn der Sauerstoff mit der Zeit zu knapp wird. Darüber hinaus war die Menge des frischen Wassers, die beim Schließen jeder Runde des Wasserkreislaufs hereinströmt, hier, im Vergleich zu den anderen Behältern, viel kleiner, was sich auch auf die durchschnittliche Konzentration des Gelösten Sauerstoffs auswirkte. Allerdings beeinflusste dieser Umstand kaum das Pflanzenwachstum, da sich die Pflanzen weiter gut entwickelten.

Wir untersuchten die Konzentration des gelösten Sauerstoffs in allen Wassertanks in den verschiedenen Phasen des automatisierten Systems, um herauszufinden, ob sie schnell vor der nächsten Auffrischung des Wassers sinkt. Das war nicht der Fall, da keine statistisch bedeutenden Unterschiede festgestellt wurden. Das beweist, dass das Wasserkreislaufsystem auf einen günstigen Wiederholzyklus beruht, der die optimalen Wasserparameter bewahrt. Allerdings haben wir festgestellt, dass die Sauerstoffmenge, in einer der Wasserkreislauf-Phasen, beträchtlich sank, und zwar, in derjenigen Phase, wenn das Wasser vom Bakterientank, über die Pflanzschalen zum Entwässerungstank strömt. Diese Tatsache lässt sich dadurch erklären, dass dies die längste und langsamste Phase, ohne jede Störung von den anderen Systemen, ist. Eine stärkere Entwässerung in den Pflanzschalen würde zu einer genauso hohen Effizienz wie in den anderen Phasen führen, und würde den Zyklus beschleunigen. Aber eine langsame Strömung erlaubt den Pflanzen, besser die für ihr Wachstum nötigen Nährstoffe aufzunehmen.

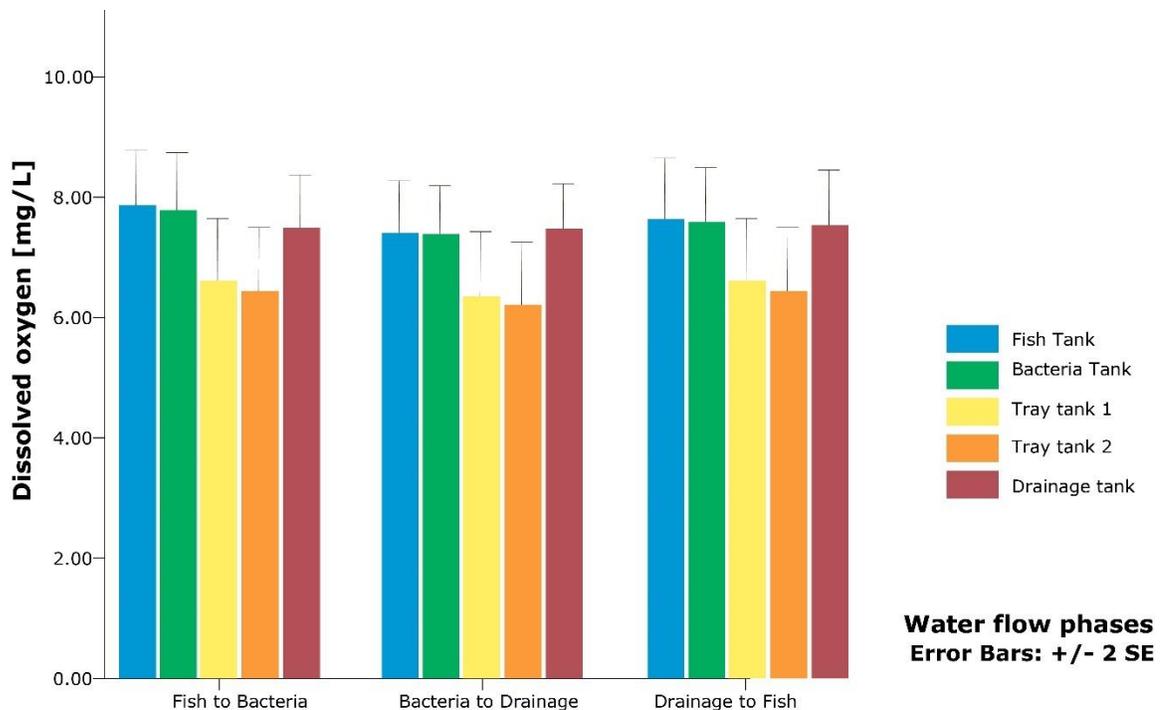


Abb. 8 Dynamic der Menge des gelösten Sauerstoffs in den verschiedenen Behältern des Systems in den 3 Phasen des Wasserkreislaufs

Die Nitrit-Nitrat Dynamik

Die Fischausscheidungen bestehen, abhängig vom pH-Wert des Wassers, aus Ammoniak und Ammonium. Ein niedrigerer pH-Wert ist vorteilhafter, da sich dabei mehr positiv geladenes Ammonium ergibt, welches durch die Fischkiemen nicht in den Organismus der Fische eindringen kann. Die natürlich im Wasser lebenden Bakterien wandeln Ammoniak zu Nitrit (NO_2) um, das nachher von anderen Bakterien, in der Gegenwart von Sauerstoff, zu Nitrat (NO_3) umgewandelt wird.

Im Rahmen des Projekts wurden wöchentlich Analysen der Nitrit- und Nitrat Konzentrationen im Wasser aller Tanks durchgeführt, sodass wir uns ein Bild von der Nährstoff- Dynamik und der Effizienz des Systems machen konnten.

Bevor ein Aquaponic-System startet, braucht es Zeit, bis das Wasser aufbereitet ist und sich die notwendige Konzentration von Nährstoffen aufgebaut hat. Nach ungefähr sechs Wochen, seitdem die Fische in das System eingeführt wurden, wurden auch die Pflanzen hinzugefügt. Kurz nachher stellten wir eine bedeutende Verminderung der Nitratmenge fest, was ein Anzeichen davon ist, dass die Pflanzen die vorhandenen Nährstoffe schon verzehrten.

Die von uns aufgrund der Fachliteratur und unseren Berechnungen, errechnete Fischbiomasse- Menge war zu gering, um den Pflanzen das optimal nährstoffreiche Wasser sichern zu können. Trotzdem gediehen die Pflanzen gut und wir erzielten befriedigende Erträge von hoher Pflanzenqualität. Das inkonsequente Ernährungsverhalten der Fische führte zu einer hohen Varianz der Nitrit- und Nitratmengen, was wahrscheinlich eine ungünstige Entwicklung in langfristigen Anbausystemen darstellt.

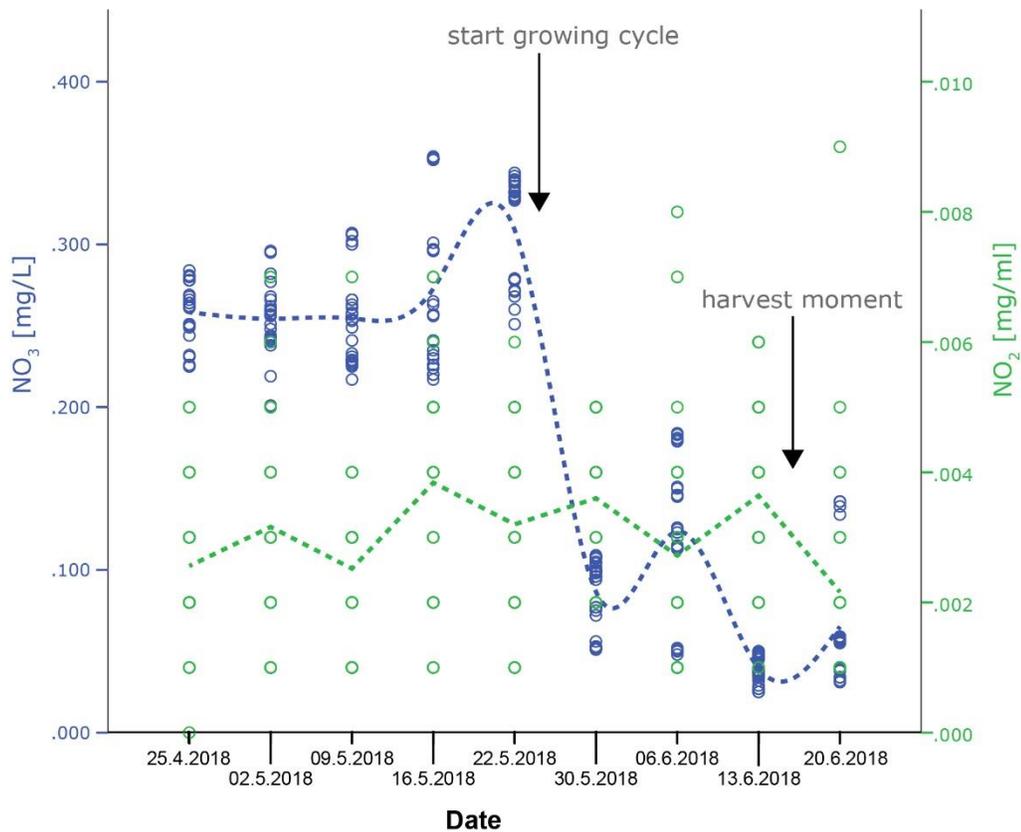


Abbildung 9 Die Dynamik der Nitrit- und Nitratmengen in der Nährlösung vor und nach dem Vegetationszyklus

Wie vorhin erwähnt, nahmen wir Messungen in allen Behältern vor. Unser Ziel war, zu erfahren, ob es Unterschiede zwischen den Nitrit- und Nitratkonzentrationen in den verschiedenen Phasen des Versuchs gibt. Hier soll erwähnt werden, dass die Wasserqualität, dank der schnellen Wasserströmung, die 20 bis 40 Minuten für einen kompletten Kreislauf benötigt, erhalten blieb.

Einige Aspekte dieser Datensätze sind nennenswert. In erster Linie ist aus den Daten ersichtlich, dass man, am Anfang des Vegetationszyklus, als das System erst eingeleitet wurde und die Fische sich sehr gut ernährten, im Fischtank die höchste Nitratmenge feststellte. Zu diesem Zeitpunkt, fand der Nitrifizierungsvorgang auch im Bakterientank statt, aber dort war eine kleinere Nitratmenge, weil das Wasser aus dem Fischtank zu dem sauberen Wasser aus dem Bakterientank hinzukam. Diese Tatsache beweist, dass die Art und Weise, wie das System eingeleitet wird, seine Effizienz beeinflussen kann. Wenn sich am Anfang Wasser im Bakterientank befindet, wird das Nitrit-reiche Wasser des Fischtanks stark verdünnt, nachdem es in den Bakterientank strömt. Wenn man aber das System mit einem leeren Bakterientank startet, wird das Wasser darin weniger verdünnt und optimal für die Bakterienentwicklung sein.

Eine andere nennenswerte Bemerkung ist, dass das Wasser aus der zweiten Pflanzschale, die schwächer beleuchtet und einen niedrigeren Ertrag einbrachte, eine höhere Nitratmenge aufwies, was ein Beweis dazu ist, dass die Pflanzen weniger Nährstoffe aus dem Wasser aufnehmen. In der letzten Phase des Vegetationszyklus wiederum, stellte man eine niedrige Nitratmenge im Wasser der 1. Pflanzschale fest, deren Pflanzen einen bedeutend höheren Ertrag ergaben, eben weil sie auch mehr Nährstoffe aus dem

Wasser verbrauchten. Nach der Ernte wuchsen die Nitrate, da die Pflanzen diese nicht mehr verbrauchten. Bekanntlich weisen Pflanzen, die sich ausschließlich von Fissausscheidungen ernähren, einige Nährstoffmängel auf. Solche wurden bei diesen Pflanzen nicht beobachtet

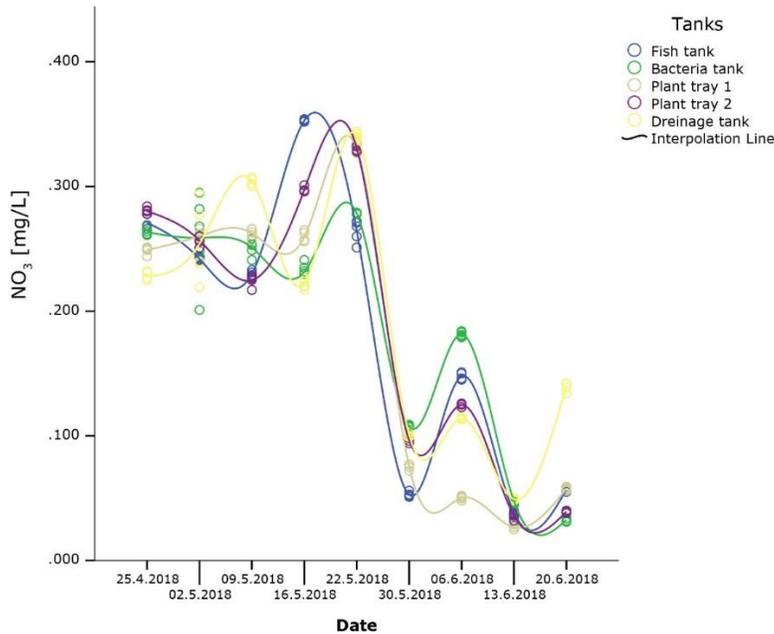


Abbildung 10 Nitratmengen in den beiden Pflanzschalen im Laufe des Versuchst

4.4.4. Fischwachstum

Wir haben die Fische wöchentlich abgewogen, um ihre Wachstumsrate aber auch die notwendige Futtermenge zu bestimmen. Die Faustregel in einem Aquaponic-System besagt, dass die Futtermenge 3% der Gesamt-Biomasse betragen soll, sodass wir die Futtermenge wöchentlich mit der Biomasse abstimmen. Allerdings hatten die Fische ein inkonsequentes Ernährungsverhalten. Wir ernährten sie mit der errechneten Menge mit Hilfe eines Futterautomaten, was dazu führte, dass sich viele übriggebliebene Futterreste im Wasser auflösten, was zur Verminderung der Wasserqualität führte. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der von den Fischen verzehrten Futtermenge, den Fissausscheidungen und den Wasserparameter. Folglich führte mehr Fischkot zum Anwachsen der Ammoniak- und Nitratmengen, die für die Fische giftig sind. Wir haben die Temperatur und die Menge des gelösten Sauerstoffs im optimalen Bereich bewahrt, aber haben auf keinerlei Weise zur Regulierung des pH-Wertes in das System eingegriffen. Infolge der Nitrifikation, sank der pH-Wert beträchtlich bis zur Schwelle 5. Die Fische begannen, sich schlechter zu ernähren und Stress-Anzeichen von sich zu geben, indem sie im Tank herumsprangen. Die Pflanzen aber entwickelten sich scheinbar ohne Probleme. Es gibt zwei Wege, das Problem des pH-Wertes zu lösen, und zwar, entweder den pH-Wert zu regulieren, indem man ihn mit Hilfe von Chemikalien erhöht, oder Fischarten zu finden, die sich besser an die Bedingungen im Fischtank anpassen können.

In einem Indoor-System, sind die zahlreichen Interaktionen zwischen Organismen, Umwelt und Nährlösung recht dynamisch. Wenn eine Art aus dem System eine Effizienz von 10% hat, dann hat

das ganze System eine Effizienz von 10 %. Die große Herausforderung ist, optimale Bedingungen für alle Organismen zu schaffen und ein ausgeglichenes Ökosystem zu gestalten, das hochqualitative Produkte erzeugen kann. Mit Hilfe der Automatisierung und umfangreicher Datensätze werden wir Modelle und Systeme gestalten, um zur Verbesserung der System-Effizienz und somit zum Erfolg der Kreislaufanbausysteme für Nahrungsproduktion beizutragen.

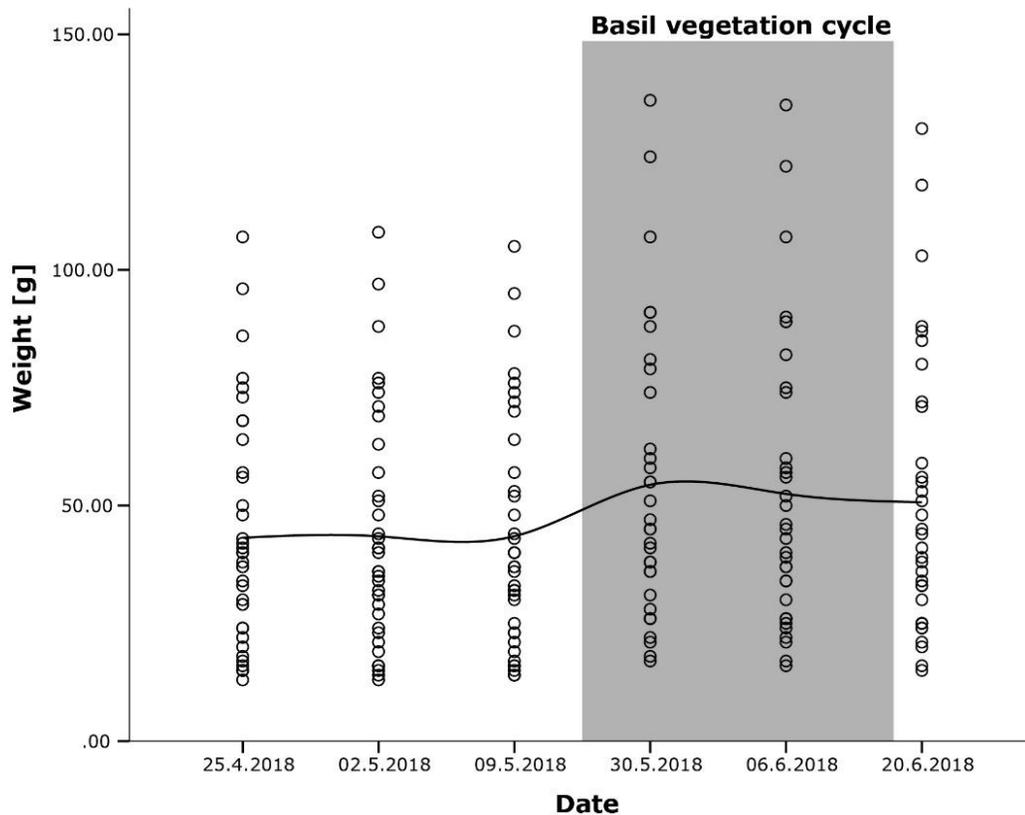


Abbildung 11 Entwicklung der Fische in dem gesamten Vegetationszyklus

5. Kommunikation

Während der gesamten Projektlaufzeit, war das Team bestrebt, sowohl die wissenschaftliche als auch die lokale Gemeinschaft über ihre Arbeit durch Vorträgen, Workshops, Konferenzen u.a. auf dem Laufenden zu halten.

Unser Team hat sich für das Projekt den Namen „PlantGeek“ ausgedacht, das sowohl auf die beiden Schwerpunkte des Projekts hinweist, nämlich Pflanzen und Automatisierung, als auch auf die Begeisterung, die „Versessenheit“, mit der wir an die Arbeit gegangen sind. Das von uns zusammengestellte PlantGeek Labor wurde schnell in der Öffentlichkeit bekannt und ist inzwischen ein etablierter Name in der Europäischen Gemeinschaft der Indoor- Landwirte geworden.

5.1. Webseite und soziale Netzwerkseiten

www.plantgeek.eu

Im ersten Jahr der Projektlaufzeit, haben wir die Webseite knapp und minimal gestaltet und nur die Informationen zu den Partnern, der Finanzierungsquelle, der Idee und den Projektzielen angeführt. Ihr Zweck war, uns als Plattform für die Kontaktaufnahme mit unseren Team-Mitgliedern zu dienen, aber auch dazu, das Interesse der Webseite-Besuchern für unser Vorhaben anzuregen. Sobald wir die ersten vorläufigen Ergebnisse und Schlussfolgerungen veröffentlichen können und der Verwirklichung der Projektziele näher gerückt sind, werden wir den Inhalt der Webseite komplexer gestalten, indem wir Ergebnisse, Anlagenbeschreibungen und die Tätigkeiten des Forschungsteams periodisch vorstellen.

Das Team hat auch regelmäßig Fotos auf Instagram gestellt, die automatisch mit Facebook und Twitter verlinkt werden und so konnte eine Anhänger-Gemeinschaft von mehr als 250 Gleichgesinnten geschaffen werden mit mehr als 50 Interaktionen per Postierung. All diese Fotos stellen zusammen eine Art Fotoalbum dar, das das Vorankommen und die Meilensteine unseres Projekts belegen. Die Facebookseite diente auch dazu, Ereignisse zu veranstalten und Kontakte mit der lokalen Gemeinschaft zu knüpfen.

Zukünftig werden wir unsere Webseite noch mehr ausbauen und, mit Hilfe von ehrenamtlich für uns arbeitenden Studenten, sie als Plattform für regere Kommunikation und umfangreichere Interaktionen benutzen.

5.2. Vorträge an Konferenzen und Tagungen, wo Projekte mit vergleichbaren Zielen und Fachleute aus demselben Bereich zusammenkommen

Unser Team hat an einigen internationalen Konferenzen teilgenommen, wo vorläufige Ergebnisse oder der Arbeitsverlauf des Systems vorgestellt und Kontakte mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft, den Industrievereinen und den Fachleuten verknüpft wurden.

5.2.1. Geschäftsreise nach Deutschland und Belgien, September 2017

Gleich nach dem Start des Neubrandenburger Projekts, besuchte unser Team einige Farmen, die entweder Aquaponic- oder Hydroponic-Technologien benutzten, sowie das Konzept der kontrollierten Landwirtschaft anwandten. Unser Vorhaben war, mit den Betreibern Ideen auszutauschen und auch die Ziele des PlanGeek-Projekts vorzustellen. Bei dieser Gelegenheit, begannen wir unser Netzwerk von Kontakten aufzubauen, an welches wir uns mit Fragen und Problemen wenden konnten, wie z.B., Systemsteuerung oder die Risiken, die mit dem Aufbau eines Indoor-Anbausystems zusammenhängen.

Während dieser Geschäftsreise, besichtigten wir die ECF-Farm in Berlin, eine Aquaponic-Anlage, wo in einem Gewächshaus Basilikum auf Grund der Fischausscheidungen angebaut wird, nachher die INFARM, auch in Berlin, die Hydroponic- Systeme in den Supermärkten angelegt hat und eine der erfolgreichsten Firmen im Bereich der vertikalen Landwirtschaft ist. Später besuchten wir das Block-6-Projekt in Berlin, wo Aquaponic-Kleinanbausysteme und eine Anlage zur Grau- und Schwarzwasser-Behandlung zu sehen waren und über den Betrieb der kleinen Aquaponic-Anbausysteme diskutiert wurde. Wir nutzten auch die Gelegenheit, die International- Gardens -Ausstellung zu besichtigen, wo wir

angenehm überrascht waren, ein Aquaponic-System ausgestellt zu sehen, was das wachsende Interesse der internationalen Gemeinschaft für Kreislaufanbausysteme beweist. Anschließend besuchten wir in Belgien die Firma Urban Farming, welche High-Tech vollautomatisierte Systeme für den Kräuteranbau entwickelt hat und wir tauschten uns mit den Vertretern über Open-Source-Aspekte und die Zukunft des Pflanzenanbaus in kontrollierter Umgebung aus. Nachher in Ghent, besuchten wir die Firma Urban Smart Farms, eine Neugründung, die seit drei Jahren im Bereich der Aquaponic-Industrie tätig ist, und es kam zu einem regen Ideenaustausch über die wichtigsten Aspekte, die bei der Gestaltung der Aquaponic-Systeme berücksichtigt werden müssen und die den guten Verlauf der Dinge sichern.

5.2.2. Plant Control by LED Light/LED-Beleuchtung für Pflanzenwachstumkontrolle-Symposium, Wageningen Universität und Forschung, Niederlande, Oktober, 2017

Im Rahmen dieses Symposiums haben wir unser Wissen über die Technologien für Kunstlichtsysteme im Pflanzenanbau auf den neuesten Stand gebracht. WUR ist eine führende Universität im Bereich des Gartenbaus, insbesondere der kontrollierten Landwirtschaft, sodass wir hier eine sehr gute Möglichkeit zum Ideenaustausch mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft und zur Erweiterung unseres Netzwerks im Bereich hatten.

5.2.3. Smart Farming World Summit/Smart Farming Weltgipfelkonferenz, Moskau, Russland, November 2017

Über unseren Partner Vertical Farming Association, wurde unser Team zu dieser Konferenz eingeladen, wo wir als Hauptreferent unser Projekt vorstellten, mit Schwerpunkt auf der Benutzung von kostengünstigen Sensoren und der Open-Source Plattform zur Verbesserung der Anbausysteme. Wir haben den Kontakt mit Industrievereinen aus Russland aufgenommen und sind mit einer lokalen Universität für künftige Zusammenarbeit im Bereich der kontrollierten Landwirtschaft in Verbindung geblieben. Das Projekt wurde auch in den lokalen Medien vorgestellt und man veröffentlichte Interviews mit dem Forschungsteam.

5.2.4. Weekend Start-Up Cluj-Napoca, Rumänien, Januar 2018

Wir wurden zu einer Podiumsdiskussion mit dem Thema Neugründungen, sei es im Bereich der Wissenschaft oder der Industrie, und die damit verbundenen Herausforderungen eingeladen. Unser Team stellte das Projekt vor und bezog sich auch auf die vielen Herausforderungen, die wir dabei bewältigen mussten und die Fehler, die uns halfen voranzukommen. Unser Projekt hat sich dadurch in der lokalen Gemeinschaft als interessant und zukunftsweisend behauptet.

5.2.5. Workshop für vertikale Landwirtschaft mit Zjef van Acker (Belgien), Cluj-Napoca, Rumänien, Januar, 2018

Wir haben einen Workshop mit dem Thema Vertikale Landwirtschaft an unserer Universität veranstaltet, zu dem Studenten und Fachleute, aber auch einfach Leute eingeladen waren, die sich für diese Problematik interessieren. Wir haben auch 100 Eintrittskarten für den freien Verkauf angeboten, die alle schon vor Beginn der Veranstaltung ausverkauft waren, und auch unangemeldete Leute wollten unserer Veranstaltung beiwohnen. Wir hatten einen 2-tägigen Workshop. Am ersten Tag

hielt Zjef van Acker, als Gastreferent einen Vortrag über vertikale Landwirtschaft auf der globalen Ebene und über die Zukunftsaussichten des Nahrungsmittelanbaus. Nachher stellte das PlantGeek-Projekt-Team sein Projekt und die Systemautomatisierung vor. In den Pausen wurde dem Publikum das System im Keller vor Ort gezeigt und die Arbeitsweise konkret vorgeführt. Dieses Ereignis hat beim Publikum ein überraschend großes Interesse für diesen Bereich erweckt. Viele Studenten meldeten sich, beim Projekt ehrenamtlich mitzumachen, um uns zu helfen aber auch dabei über den Indoor- Pflanzenanbau zu lernen. Wir werden auch zukünftig solche Ereignisse veranstalten, um eine wachsende lokale Gemeinschaft für die Verbreitung dieser Art von Technologien zu interessieren und schließlich echten Einfluss auf den lokalen Markt zu nehmen.

5.2.6. MELiSSA Workshop, Rom, Italien, April 2018

Wir haben die vorläufigen Ergebnisse in der MELiSSA Workshop in Rom, Italien, vorgestellt. MELiSSa ist ein Projekt der Europäischen Weltraumagentur (ESA), das seit 30 Jahren an der Entwicklung eines geschlossenen lebenserhaltenden Kreislaufsystems arbeitet. Das war ein sehr guter Rahmen für die Vorstellung der vorläufigen Schlussfolgerungen unseres Projekts, dessen Schwerpunkte die Automatisierung der Nahrungsmittelproduktion in geschlossenen Kreislaufsystemen und die Verbesserung der Pflanzenqualität sind. Wir erhielten gute Resonanz auf den Vortrag und bauten viele gute Kontakte für zukünftige Austausche auf. Dank dem von unserem Projekt erweckten Interesse, erkannten wir, dass unsere Arbeit über kontrollierte Landwirtschaft einem der derzeit aktuellsten Anliegen der wissenschaftlichen Forschung entgegenkommt.

5.2.7. Groie Nest a. Frienden Urban Farming Festival, Ghent, Belgien, Mai 2018

Wir wurden eingeladen, unser Projekt im Rahmen eines Meetings für Urbane Landwirtschaft in Ghent, Belgien vorzustellen. Groie Nest ist eine Nichtregierungsorganisation, die sich für Urbane Landwirtschaft durch Veranstaltung von Ereignissen zur Aufbau einer dafür interessierten Gemeinschaft einsetzt. Dieses Festival war eine weitere gute Gelegenheit, unser Projekt vorzustellen und uns mit Fachleuten mit ähnlichen Anliegen aus Niederlande und Belgien auszutauschen.

5.2.8. Border Sessions – High-Tech Low Tech Food/ Hochttechnologie Niedrigtechnologie-Nahrungsmittel, Den Haag, Niederlande, Juni, 2018

Auf Einladung unseres Partners Astrobal, stellten wir unser Projekt im Rahmen des Border Session Labors der New Farm in Niederlande kurz vor. Dieses Ereignis stellte eine weitere Gelegenheit zur Erweiterung unseres Kontaktnetzes dar, mit Blick auf Zusammenarbeit im Bereich der Open –Source-Anbaukreissysteme.

5.2.9. Circular Economy Summer School School, Malaga, Spanien, Juli 2018

Als Gast der Universität von Malaga, hat unser Team das Projekt im Rahmen der obigen Veranstaltung präsentiert. Das war eine gute Gelegenheit, über das Potential der Kreislaufsysteme und der Indoor Nahrungsmittelproduktion zu sprechen, die Herausforderung der nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion einbezogen.

Das Potential der Technologie zur Verbesserung der Nahrungsmittelproduktion im Kreislaufsystem und zur Abfallverminderung wurde besonders hervorgehoben. Wir knüpften Kontakte mit der lokalen Gemeinschaft und den Studenten und regten sie an, eine Karriere in diesen Bereichen zu verfolgen.

5.3. Schaffen einer Gemeinschaft mit gleichgesinnten Forschungsgruppen, Neugründungen und Initiativen

Seit dem Projektbeginn, waren wir bestrebt, Kontakte zu ähnlichen Initiativen aufzunehmen, zwecks der langfristigen Zusammenarbeit und des Ideenaustausches mit Blick auf gegenseitige Hilfe in unseren Vohaben.

5.3.1. AMI Farm Lab

Wir gehören zur sogenannten AMI Farm Lab Gemeinschaft, ein Akronym, das für Aquaponic-Systeme, Mushrooms (Pilze) und Insekten steht. Unsere Arbeit gehört dem Bereich der Aquaponic – Systeme an, aber diese Systeme sind keine kompletten Kreislaufsysteme. Wir müssen auch die Fische füttern und den Pflanzenabfall entsorgen. Zu diesem Zweck, haben wir diese internationale Gemeinschaft geschafft, die uns hilft, leichter Kontakt mit Fachleuten in den ergänzenden Systemen aufzunehmen. Insekten können den Fischen als Nahrung dienen und auch den nicht fressbaren Pflanzenabfall verarbeiten; andererseits, kann man den Abfall, der sich nicht verarbeiten lässt, zur Herstellung von Pilzkultur-Substrat verwenden. Da diese informellen Gruppen bestrebt sind, Anbaukreislaufsysteme wirtschaftlich funktionsfähig zu machen, arbeitet man zurzeit daran, eine Datenaustausch-Plattform, sowie ein Open-Source System zu erstellen.

5.3.2. AstroPlant

Astroplant ist ein von der ESA geförderten Projekt, mit dem Ziel, eine kleine automatisierte Klimakammer für den Pflanzenanbau zu entwickeln und auch die Bürger für Pflanzenkunde mittels der Open – Source-Systeme zu interessieren. In diesem Projekt, hat man ähnliche Sensoren und Plattformen eingebaut und daher tauschen wir uns stets miteinander hinsichtlich der Verbesserung der Kreislaufanbausysteme aus.

5.3.3. Smart Crops, Niederlande

Smart Crops ist eine Neugründung in Niederlande und Mitglied der AMI-Farm-Lab-Gemeinschaft, die bestrebt ist, mit AMI-Systemen auf den Markt zu gelangen. Wir tauschen häufig Informationen über Daten, Entwicklungen und Systemgestaltung zur Optimierung des Anbaus aus. Das hilft uns, die Arbeitsprotokolle zu validieren, und ihnen, ihrem Ziel näherzukommen. Es ist eine fruchtbare Zusammenarbeit.

5.3.4. CPH Dänemark, Farmee, Niederlande

Vor kurzem haben wir die Verbindung mit der CPH Gemeinschaft der „städtischen Gartenbauern“ aus Dänemark, die auch Kleinanbausysteme benutzen und deren Interessen sich mit

unseren Projektzielen weitaus überschneiden. Farmee ist eine Neugründung aus Dänemark, die auf Software-Entwicklung spezialisiert ist, mit welcher wir in der Suche nach Möglichkeiten für die Entwicklung besserer Open-Source-Software für die Anbausysteme zusammenarbeiten.

6. Nächste Schritte

Zum Zeitpunkt der vorliegenden Berichterstattung, haben wir das fünfte Experiment eingeleitet, in dem wir eine andere Fischart, und zwar, afrikanischen Raubwels (*clarias gariepinus*) züchten. Der Grund dazu besteht darin, dass wir in Rumänien einen Fischzüchter gefunden haben, der die Art industriell züchtet. Demzufolge haben wir diesmal Fische von hoher Qualität und niedriger Varianz ins System eingeführt, die sich gut ernähren und in kontrollierten Systemen gut gedeihen; andererseits kann diese Fischart auch den niedrigeren pH-Wert des Wassers gut vertragen und hat, dank seinen Lungen, einen niedrigeren Bedarf an gelöstem Sauerstoff-Gehalt im Wasser. Unsere Entscheidung war also, uns nicht mit dem Problem der Wasserparameter auseinanderzusetzen, sondern Organismen zu finden, die im gegebenen System gut gedeihen.

Hinsichtlich der Pflanzen, haben wir weiter Basilikum angebaut, aber die Pflanzschalen mit derselben Lichtstärke beleuchtet, und nun suchen wir andere Parameter, die sich in die Automatisierung übertragen lassen.

Bezüglich der Systemgestaltung, haben wir mehrere Filter eingebaut, einen Swirl Filter zur Beseitigung der beträchtlichen Schlammengen, die die Zuverlässigkeit der Sensorendaten beeinträchtigen; andere Filter noch, um eine entkoppelten Wasserströmung zu sichern, die zur Beibehaltung ruhiger, optimalen Bedingungen im System beitragen.

Alle Sensoren wurden optimiert, aber sie liefern weiterhin nicht immer zuverlässige Daten und funktionieren auch nicht einwandfrei. Deshalb muss die Auswertung der Sensorendaten und die darauf beruhende Automatisierung weiterhin optimiert werden. Die bisher vorliegende Automatisierung kann als Wissensgenerator für die Entwicklungen im Ökosystem, aber auch als experimentelles Steuerungswerkzeug für das System der Verbesserung der Nahrungsmittelproduktion dienen.