



Wettbewerbsarbeit
Schweizer Jugend Forscht
März 2017

Hydroponic-Systeme als alternative Filteranlage für Goldfischteiche



Autor:
Betreuende Lehrperson:
SJF-Experte:

Stefan Bösch
Matthias Lussi
Dr. Reto Neuweiler

Abstract

Das Ziel der vorliegenden Maturaarbeit war es, einen Goldfischteich als Outdoor-Aquaponic-System zu betreiben. Dadurch sollte eine gute Wasserqualität im Teich und das Erzeugen von Gemüse erreicht werden. Es wurden zwei Aquaponic-Systeme mit zwei unterschiedlichen Hydroponic-Systemen aufgebaut und betrieben. Die Versuchszeit der Aquaponic-Anlage wurde auf acht Wochen angesetzt. Als Kulturpflanzen wurden drei verschiedene Salatsorten, Basilikum, Petersilie und Zucchini eingesetzt. Der Aufbau und der Betrieb dieser beiden Anlagen wird im folgenden Bericht beschrieben. Zusätzlich wurde das Wachstum der Salate mit einem konventionellen Anbau im Garten verglichen.

Durch den Einsatz einer Hydroponic-Einheit als Filter konnte konstant eine gute Wasserqualität für die Goldfischhaltung erreicht werden. Die Salate aus den Aquaponic-Systemen wuchsen zwar, wiesen jedoch beim Verspeisen einen deutlich bitteren Geschmack auf. Ausserdem war dieser im Vergleich zum gleichzeitig kultivierten Salat aus dem Garten deutlich kleiner. Das Basilikum und die Petersilie verkümmerten im Versuch.

Diese Resultate wurden vor allem mit einem tiefen Nährstoffgehalt im Wasser begründet. Die geringe Nitratkonzentration wurde auf die, im Vergleich zu anderen Aquaponic-Systemen, geringe Fischdichte zurückgeführt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Definition Aquaponic	1
1.2	Nitrifikation	1
1.3	Verschiedene Systeme der Hydroponic	2
1.4	Wichtigkeit von Aquaponic-Systemen	3
1.5	Forschung	4
1.6	Goldfische	5
1.7	Fragestellung und Hypothesen	6
2	Material und Methode	7
2.1	Versuchsaufbau	7
2.1.1	Berechnung der Anlagegrösse	7
2.1.2	Aquakultur-Teil	8
2.1.3	Filterung	9
2.1.4	Hydroponic-Systeme	10
2.1.5	Verwendete Pflanzen	12
2.2	Versuchsordnung	13
2.2.1	Einlaufphase	13
2.2.2	Messung der Gewichtszunahmen des Gemüses	13
2.2.3	Messung der Wasserwerte	13
2.2.4	Vergleich zum Anbau im Garten	14
3	Resultate	15
3.1	Wasserwerte	15
3.2	Pflanzenversuche	16
3.2.1	Salate	16
3.2.2	Kräuter	20
3.2.3	Zucchini	20
3.3	Geschmack	21
3.4	Kosten	21
4	Diskussion	22
4.1	Wasserqualität	22
4.2	Eignung der Pflanzen	22
4.3	Vergleich der beiden Hydroponic-Systeme	23
4.4	Kosten-und Zeitaufwand Vergleich konventioneller Filter	23
4.5	Vergleich mit Anbau im Garten	24
4.6	Eignung eines Hydroponic-Systems als Teichfilter	24

4.7	Weitere Untersuchungen.....	25
4.8	Methodenkritik.....	26
5	Reflexion	27
6	Danksagung	30
7	Anhang	31
7.1	Rohdaten NFT.....	31
7.2	Rohdaten DWC.....	32
7.3	Rohdaten Garten	33

1 Einführung

1.1 Definition Aquaponic

Der Begriff Aquaponic ist aus den zwei Bezeichnungen Aquakultur und Hydroponik zusammengesetzt. Aquakultur beschreibt die Aufzucht von im Wasser lebenden Organismen. Das Anbauen von Pflanzen in anorganischem Substrat mit Verwendung einer Nährlösung wird als Hydroponic bezeichnet. Die Kombination dieser beiden Systeme führt zu einem Nährstoff- und Wasserkreislauf, welcher viele Vorteile mit sich bringt.

Oft werden schnellwachsende Fische aus der Familie der Buntbarsche (*Cichlidae*) gehalten. Ein für die Aquaponic wichtiger Vertreter dieser Familie ist die Gattung der Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Da dies Warmwasserfische sind, werden Aquaponic-Anlagen grösstenteils als Indoor-Systeme betrieben. Dies hat den Vorteil, dass während des ganzen Jahres Lebensmittel produziert werden können und das Klima für das Wachstum besser kontrolliert werden kann.

In der Produktion mit der Hydroponic werden meistens diverse Salatsorten, Gurken oder Tomaten eingesetzt.

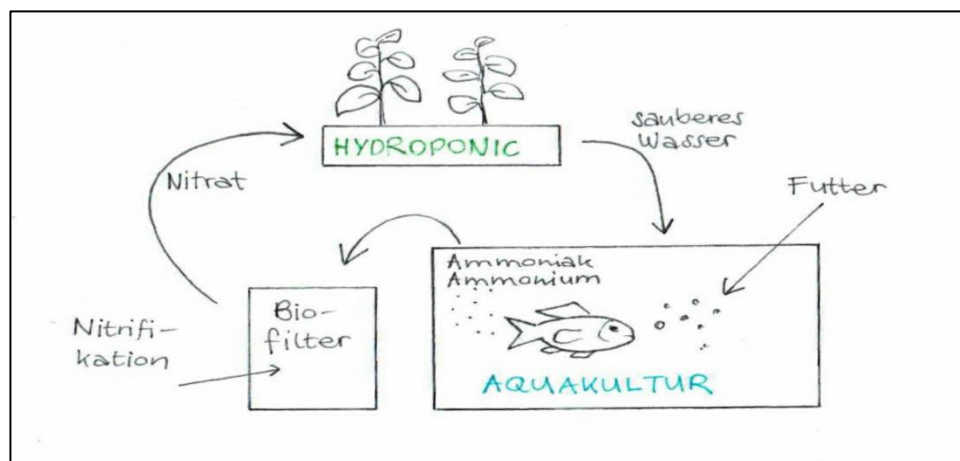


Abbildung 1, vereinfachte Darstellung einer Aquaponic-Anlage

1.2 Nitrifikation

Die benötigten Nährstoffe für die Pflanzen in der Hydroponic-Einheit gelangen durch die Fütterung der Fische in der Aquakultur ins Wasser. Die durch einen Biofilter umgewandelten Nährstoffe werden von den Pflanzen im Hydroponic-Teil für ihr Wachstum verwendet. Der Prozess im Biofilter, bei welchem das von den Fischen ausgeschiedene Ammoniak und Ammonium in Nitrat umgewandelt wird, bezeichnet man als Nitrifikation. In einem ersten Teilschritt werden Ammonium-Ionen (NH_4^+) durch Nitritbakterien, wie Nitrosomonas, zu Nitrit (NO_2^-) oxidiert. Anschliessend wird das Nitrit durch Nitratbakterien, wie Nitrobacter, in Nitrat (NO_3^-) oxidiert [1].

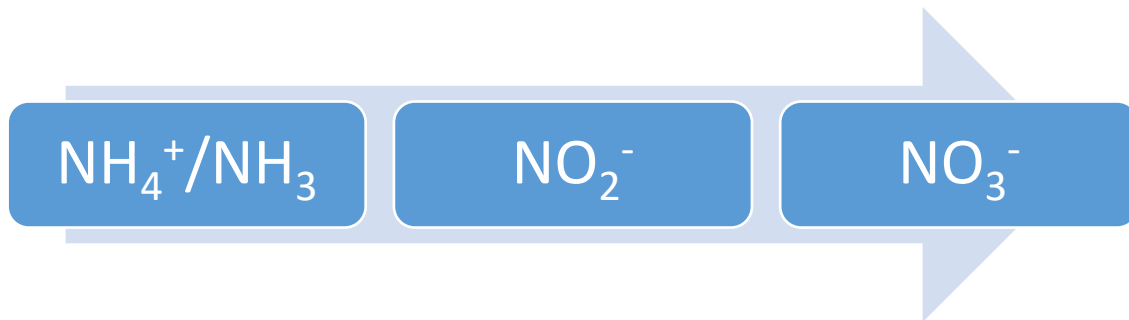


Abbildung 2, graphische Darstellung der Nitrifikation

Damit dieser Prozess ausreichend stattfindet, wird ein Biofilter eingesetzt. Dieser bietet den für die Nitrifikation benötigten Bakterien einen grossen Ansiedlungsraum. Ein Biofilter besteht aus porösem, anorganischem Material. Oft werden Kies, Sand oder speziell dafür produzierte Plastikteile verwendet. Für eine optimale Leistung des Biofilters sollte der pH-Wert zwischen 7,5 bis 9 liegen [2]. Beim Biofilter wird zwischen zwei unterschiedlichen Systemen unterschieden. Bei der integrierten Schlammnutzung wird nur ein Biofilter eingesetzt. Somit werden alle Fischausscheidungen verwertet. Durch die grossen Ablagerungsmengen wird jedoch die Wirkung des Biofilters eingeschränkt. Mit diesem Filter ist ein Fischbesatz von 10 kg/m³ möglich. Beim anderen System kann durch eine Schlammseparierung mit einem zusätzlichen mechanischen Filter die Besatzdichte der Fisch bis auf 50kg/m³ erhöht werden [3].

1.3 Verschiedene Systeme der Hydroponic

Für den bestmöglichen Betrieb einer Hydrokultur sollte der pH-Wert Wert zwischen 5,5 und 6,5 liegen [4]. Als Hydroponic-Teil können verschiedene Systeme angewendet werden. Häufig angewendete Grundprinzipien der Hydroponic werden kurz erklärt:

Beim Ebbe-und Flut-System wird das Becken, in welchem die Wurzeln der Pflanzen sind, in gewissen Abständen mit der Nährlösung geflutet und danach wieder komplett entleert. Das Becken wird komplett mit anorganischem Material befüllt. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass kein zusätzlicher Biofilter eingesetzt werden muss. Der technische Aufwand für dieses System ist jedoch ziemlich gross, da das Becken in bestimmten Abständen komplett befüllt und wieder entleert werden muss [3].

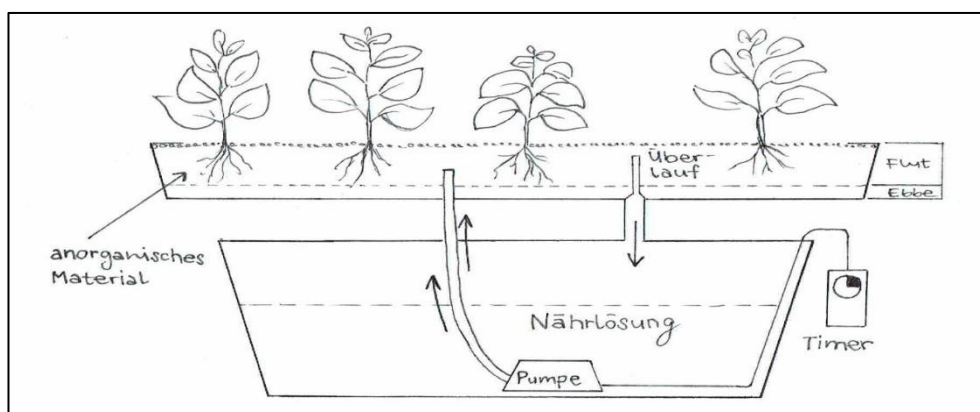


Abbildung 3, Skizze eines Ebbe-und Flut-Systems

Bei der NFT (Nährstoff-Film-Technik) liegen die Wurzeln auf einem konstanten Wasserfilm, von welchem sie die benötigten Nährstoffe aufnehmen können. Die Kosten für den Bau dieses Systems sind eher kleiner. Ein Nachteil dieses System liegt darin, dass die Rinnen durch das Wurzelwachstum verstopfen können, somit kann der Wasserkreislauf unterbrochen werden [3].

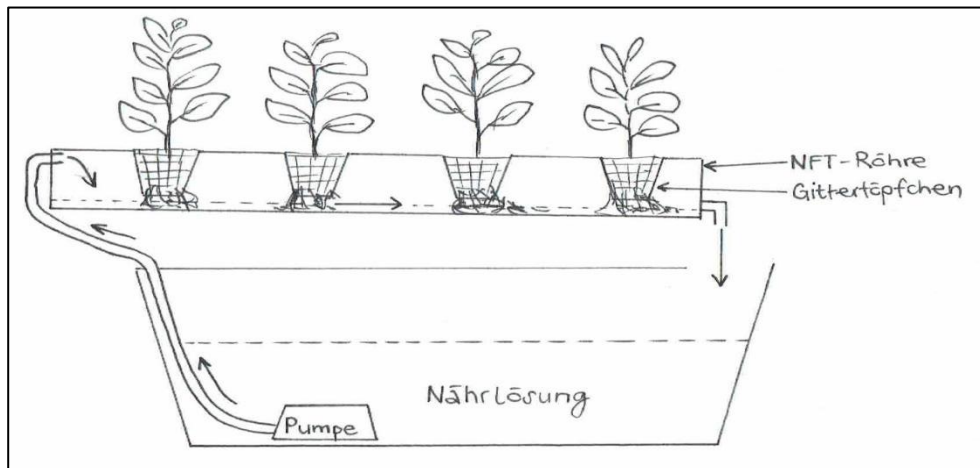


Abbildung 5, vereinfachte Darstellung eines NFT-Systems

DWC (Deep Water Culture) bezeichnet die Hydroponic, in welchem die Pflanzenwurzeln ganzzeitig in der Nährlösung schwimmen. Der Aufbau dieses Systems ist eher einfach. Jedoch besteht die Gefahr, dass die Wurzeln zu faulen beginnen [3]. Deshalb sollte zusätzlich mit einer Luftpumpe Sauerstoff ins Wasser gebracht werden. [5]

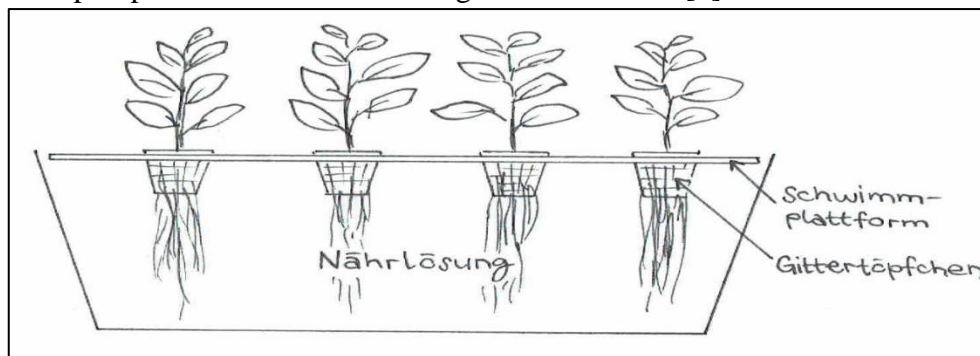


Abbildung 6, Darstellung einer Deep Water Culture

1.4 Wichtigkeit von Aquaponic-Systemen

Vor allem die Aquakultur, aber auch die Hydrokultur werden heute bereits im grossen Stil angewendet, um den Hunger der stetig wachsenden Bevölkerung zu stillen und wilde Fischbestände zu schützen. Denn gemäss den Vereinten Nationen wird die Weltbevölkerung bis 2050 auf etwa 9,7 Milliarden Menschen steigen [6]. Jedoch sind diese Systeme sehr kostspielig und ressourcenverschlingend. Ein grosses Problem der Aquakultur ist, dass durch unverwertetes Futter und Fischausscheidungen die umliegenden Gewässer überdüngt werden [7]. Die Landwirtschaft benötigt heute 70% des vom Menschen genutzten Wassers. Mit einer Aquaponic-Farm kann dieser Verbrauch bis zu 90% gesenkt werden [8]. Ausserdem ist der Fisch die nachhaltigste tierische Eiweissquelle. Für die Produktion von einem Kilogramm Fisch wird nur 1,2 bis 1,4 Kilogramm Futter benötigt. Für die Produktion von einem Kilo Rindfleisch wird hingegen etwa die achtfache Menge benötigt [8]. Somit können teure Wasseraufbereitungsanlagen in der Fischzucht und Kunstdünger in der Hydroponik eingespart werden. Ausserdem kann vor allem in der Aquakultur in Verbindung mit einer Hydroponic-Einheit durch den Kreislauf viel Wasser, welches immer wertvoller wird, gespart werden.

1.5 Forschung

Das erste Aquaponic-System wurde 1985 von McMurtry und Sanders entwickelt und mit dem Namen „Integrated Aqua-Vegeticulture System“ benannt [9].

Dieses neuartige System faszinierte vor allem Privatpersonen, welche versuchten diese Form der Nahrungsmittelproduktion weiter zu entwickeln. Das Interesse von Halblaien besteht bis heute. Für den Austausch von gewonnenen Informationen gibt es bereits viele Foren und Bücher.

Die industrielle Nutzung der Aquaponic läuft bereits. Jedoch wird diese ständig erweitert, da die Systeme noch nicht komplett ausgereift sind. Auch die Anstrengungen von Forschungseinrichtungen sind gross. In der Schweiz beschäftigt sich vor allem die ZHAW (Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften) in Wädenswil mit der Forschung im Bereich der Aquaponic.

Auch die EU setzt auf die weitere Erforschung der Aquaponic. Sie investierte knapp sechs Millionen Euro in das 2014 gestartete Vorhaben INAPRO (Innovative model & demonstration based water management for resource efficiency in integrated multitrophic agriculture and aquaculture systems). Das Ziel dieses auf vier Jahre angelegten Projekts ist die technische und wirtschaftliche Umsetzung der Aquaponic für die Nahrungsproduktion. Die Führung dieses Projekts liegt in den Händen des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) aus Berlin. Insgesamt sind 18 Partner aus acht verschiedenen Nationen an diesem Forschungsprojekt beteiligt [10].

„Der Tomatenfisch“ ist ein bekanntes Projekt der IGB. Es wird versucht eine emissionsfreie und nachhaltige, jedoch wirtschaftliche Massenproduktion von Lebensmitteln zu erzielen [11]. Dieses Projekt steht in der Öffentlichkeit stellvertretend für eine nachhaltige Produktion durch die Aquaponic.



Abbildung 7, Tomatenfischprojekt (<http://www.tomatenfisch.igb-berlin.de>)

1.6 Goldfische

Bei dieser Arbeit wurde der Einsatz einer Hydroponic-Einheit als Teichfilter für einen Goldfischteich getestet. Der Goldfisch (*Carassius auratus*) gehört zur Familie der Karpfenfische. Die Körperform der Goldfische stimmt mit dem der Karpfen überein. Die Goldfische weisen nach ihrem Schlupf eine bräunliche Farbe auf. Später entwickelt sich die typische rote und/oder weisse Verfärbung. Bereits 960 n. Chr. sollen Züchter in China mit diesem Süßwasserfisch Zuchtversuche vorgenommen haben. Die Zuchtform stammt von der Silberkarausche (*Carassius gibelio*) ab, welche normalerweise silbergrün oder braun gefärbt ist [12]. Die artgerechte Haltung von Fischen und somit auch von Goldfischen wird im Schweizer Tierschutzgesetz folgendermassen beschrieben:

Das Wohlergehen der Tiere ist gegeben, wenn (Art. 3):

- die Haltung und Ernährung so sind, dass ihre Körperfunktionen und ihr Verhalten nicht gestört sind und sie in ihrer Anpassungsfähigkeit nicht überfordert sind,
- das artgemässe Verhalten innerhalb der biologischen Anpassungsfähigkeit gewährleistet ist,
- sie klinisch gesund sind,
- Schmerzen, Leiden, Schäden und Angst vermieden werden. [13]

Die optimalen Wasserwerte für Goldfische liegen in folgenden Bereichen:

- Nitrat < 25mg/l
- Nitrit <0,2mg/l
- PH-Wert 6,5 – 8,5 [14]

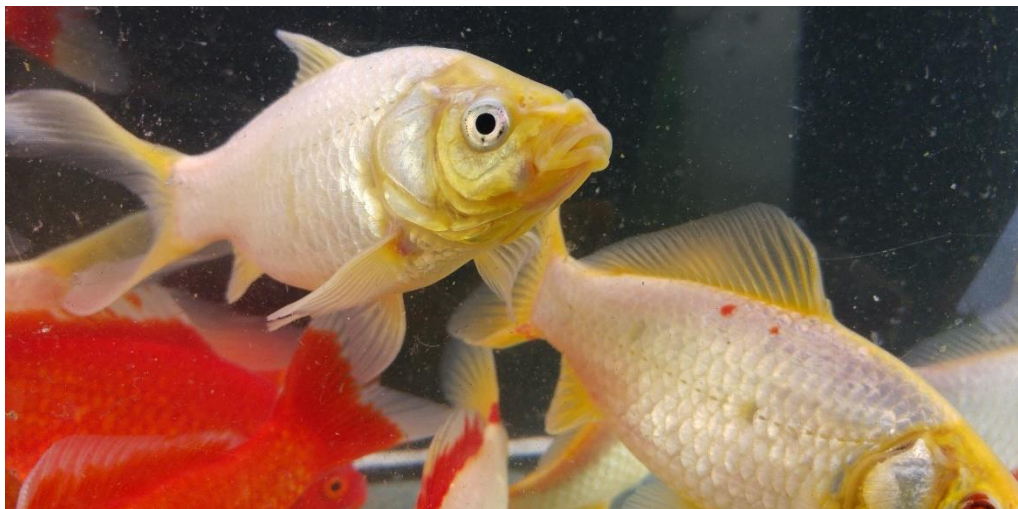


Abbildung 8, Goldfische aus der Versuchsanlage

1.7 Fragestellung und Hypothesen

Wie bei den Aquakulturen entstehen ebenso in Goldfischeichen Nährstoffe. Wenn diese nicht durch wartungsintensive und teure Filteranlagen entfernt werden, herrscht ein Überschuss an Nährstoffen. Dies kann zu starkem Algenwachstum führen, was die Sicht auf die Zierfische beeinträchtigt oder verunmöglicht. Im schlimmsten Fall kann eine zu hohe Konzentration auch zu einer Beeinträchtigung der Gesundheit der Fische führen. Eine billigere Alternative zu den Filteranlagen sind chemische Präparate, welche jedoch nicht die Ursachen sondern meist nur die Folgen, wie zu starkes Algenwachstum, bekämpfen und nur kurzfristig nützt. Ausserdem ist fraglich, ob diese Produkte für die Gesundheit der Fische und der anderen Mitbewohner im Teich nicht schädlich sind.

Das Ziel dieser Arbeit war ein Goldfischeich mit einem Hydroponic-System zu filtern. Die Hydroponic-Einheit sollte mit möglichst geringen finanziellen Mitteln gebaut und betrieben werden können. Im Versuch wurden zwei verschiedene Systeme der Hydroponic miteinander auf die Eignung als Teichfilter verglichen. Ein weiteres Ziel war es, herauszufinden, welches Gemüse für dieses Aquaponic-System am besten geeignet ist. Ausserdem wurde erforscht, wie gut das Pflanzenwachstum im Vergleich zu einem Anbau im privaten Garten ist.

Mit dieser Arbeit wurde die folgende Hypothese untersucht.

- Durch den Betrieb eines Aquaponic-Systems kann eine konstant gute Wasserqualität für die Haltung von Goldfischen erzielt werden.
- Die Anlage kann kosteneffizienter und wartungsärmer betrieben werden, als ein herkömmlicher Teichfilter.
- Mit einem Outdoor-Aquaponic-System mit Goldfischbesatz kann erfolgreich essbares Gemüse produziert werden.

2 Material und Methode

2.1 Versuchsaufbau

Für den Versuch wurden zwei verschiedene Aquaponic-Anlagen aufgebaut. Diese unterscheiden sich nur durch zwei verschiedene Arten der Hydroponic. Da die Bau- und Betriebskosten möglichst tief gehalten werden sollten und Kaltwasserfische gehalten werden sollten, wurde zwei Outdoor-Anlage aufgebaut.

2.1.1 Berechnung der Anlagegrösse

Die Grösse der Anlage wurde von der Menge der Fische ausgehend berechnet. Durch das Wägen von zehn Fischen konnte herausgefunden werden, dass diese zusammen 1250 Gramm wogen. Goldfische brauchen pro Tag etwa 1% ihres Körpergewichts an Futter. Dies entspricht 12,5 Gramm Futter pro Tag und Fischteich. Das verwendete Teichfischfutter Pond Multi Mix der Marke Tetra wies einen Proteinanteil von 41% auf. Somit standen den Fischen pro Tag 5g Protein zur Verfügung. 9,2% der durch die Fische aufgenommenen Proteine werden in Form von Stickstoff wieder ausgeschieden [15]. Dies entspricht bei einem Input von 5 Gramm Protein 0,46 Gramm Stickstoff pro Tag. Dies ist der zur Verfügung stehende Nährstoff. Mit diesem Wert wurde die Anzahl Kopfsalate errechnet, welche damit genährt werden konnten. Kopfsalat enthält auf 100 Gramm 0,022g Phosphat [16], bei einer durchschnittlichen Grösse von 350 Gramm sind dies 0,077 Gramm Phosphat, welcher die Pflanze während ihres gesamten Wachstums benötigt. Es wurde angenommen, dass der Kopfsalat 90 Tage benötigt, um diese Grösse zu erreichen. Pro Tag braucht ein Kopfsalat demzufolge 0,00085 Gramm Phosphat. Das Redfield-Verhältnis besagt, dass Phosphat zu Stickstoff in einem Verhältnis von 1:16 benötigt wird [17]. Damit wurde berechnet, dass pro Pflanze und Tag 0,01368 Gramm Stickstoff benötigt wird. Mit der errechneten Stickstoffmenge, welche pro Tag entsteht, wurde anschliessend errechnet, wie viele Kopfsalate damit versorgt werden können. So wurde errechnet, dass mit der vorhandenen Stickstoffmenge etwa 33 Kopfsalate ernährt werden können. Durch den Versuch wollte nicht nur die Eignung der beiden Hydroponic-System als Teichfilter geprüft werden, sondern auch ermittelt werden, welche Pflanzen sich am besten für diese Anwendung eignen. Deshalb wurden verschiedene Pflanzen eingesetzt. Es wurde angenommen, dass die ausgewählten Pflanzen etwa einen gleich hohen Nährstoffbedarf aufweisen, wie der für die Berechnung verwendete Kopfsalat.

2.1.2 Aquakultur-Teil

Die Aquakulturen bestanden aus jeweils einem 1000-Liter IBC-Tank. Mit einer Stichsäge wurde der Deckel dieses Plastikbehälters entfernt. Obwohl die Tanks früher für die Aufbewahrung von Lebensmitteln benützt wurden, mussten diese mit einem Hochdruckreiniger gesäubert werden. Mit einem Bagger wurden die Vertiefungen für die Fischteiche und Biofilter geschaffen. Anschliessend wurden die Tanks bis auf etwa 20 cm in den Boden versenkt. Dabei musste beachtet werden, dass die Fischtanks höher lagen als die Biofilter, damit das Wasser durch die Schwerkraft selber abfliessen konnte.

Um die Richtlinien für eine artgerechte Haltung von Goldfischen zu erfüllen, wurde der Empfehlung, dass in 200 Liter Wasservolumen drei mittelgrosse Fische gehalten werden können, Folge geleistet [12]. Um zu verhindern, dass die bewegungsfreudigen Tiere gestresst wurden und dem zur Folge erkrankten, wurde das Wasservolumen pro Fisch noch etwas erhöht. Pro Tank wurden etwa 1,25 kg Goldfische gehalten. Dies waren in diesem Versuch jeweils 10 grosse Goldfische. Somit standen jedem Tier etwa 100 Liter Wasser zur Verfügung. Auf dem Grund des künstlichen Teiches wurde eine dünne Schicht Kies verteilt, damit die Fische ihrem natürlichen Verhalten, dem Gründeln, nachgehen konnten. Damit die Fische vor Stress und Fressfeinden geschützt waren, wurden die Fischbecken mit einer Plane zugedeckt. Zusätzlich konnte somit das Algenwachstum verringert werden, da weniger Sonneneinstrahlung zum Wasser gelangten.



Abbildung 9, Fischtank

2.1.3 Filterung

Ein PVC-Rohr mit einem Durchmesser von 75mm bildete den Überlauf zum anschliessenden Biofilter. Dieser Übergang wurde, wie alle Überläufe, mit einer Gummiabdichtung, welche auf die Grösse des Rohrs angepasst war, abgedichtet. Der Biofilter bestand aus einer 240-Liter Regentonne, welche mit etwa 200 Liter porösem Kies befüllt wurde. Damit das Wasser durch das gesamte Filtersubstrat fließen konnte, wurde der Überlauf des Filters mit einem Rohr verbunden, welches bis zum Grund des Filters führte. Somit floss das mit Fischausscheidungen angereicherte Wasser von oben nach unten durch das Substrat und gelangte durch die Öffnung des Rohrs am Boden wieder nach oben bis zum Überlauf. Von dort aus floss das Wasser, aufgrund der Schwerkraft, in einen tiefer liegenden Pumpensumpf. Dafür wurde eine 75-Liter Tonne in den Boden gelassen. Darin befand sich eine Teichpumpe des Herstellers Heissner mit dem Produktnamen Wasserspielpumpe HSP 1600-00, mit einer Leistung von 1500 Liter pro Stunde, mit einem Stromverbrauch von 20 W. Diese Pumpe transportierte das Wasser durch einen lichtundurchlässigen Schlauch zum Hydroponic-Teil. Zum Versuchsbeginn wurde mit durchsichtigen Schläuchen gearbeitet. Dies führte zu starkem Algenwachstum auf der Innenseite der Schläuche. Nach etwa vier Wochen führte dies dazu, dass kein Wasser mehr nach oben transportiert werden konnte, da die Algen die Schläuche komplett verstopften.



Abbildung 10, Oben (dunkelgrün) Biofilter mit Überlauf zum Pumpensumpf

2.1.4 Hydroponic-Systeme

Das erste Hydroponic-System, welches eingesetzt wurde, wird als **DWT** (Deep Water Culture) bezeichnet. Diese Anlage bestand aus einem 30cm hohen, 100cm breiten und 200cm tiefen Kasten, welcher komplett mit Wasser befüllt wurde. Für die Befestigung dieses Beets wurde in den vier Ecken jeweils ein viereckiger Pfosten mit einer Länge von 175cm in den Boden geschlagen. Daran konnten anschliessend die Seitenwände des Kastens, welche aus Holzbalken bestanden, angeschraubt werden. Damit der Kasten wasserdicht war, wurde dieser mit einer 0,5mm dicken PVC-Teichfolie ausgelegt. An der schmalen Seite, welche näher am Fischteich war, wurde ein Überlauf angebracht, der direkt in den Fischtank führte. So konnte das Wasser in einem Kreislauf zirkulieren.

Die Wurzeln der Setzlinge wurden in einem ersten Schritt mit Wasser von der Erde gelöst. Mit Blähton gefüllte Gittertöpfchen, mit einem Durchmesser von 80mm, dienten den Pflanzen als neues Substrat, worin sie sich verwurzeln konnten. Damit diese Töpfchen auf dem Wasser schwimmen konnten, wurden in vier Styroporplatten, mit einer Höhe von 35mm, jeweils acht passende Löcher ausgeschnitten, damit die Töpfchen darin befestigt werden konnten. Bei diesem System waren die Wurzeln der Pflanzen komplett im Wasser.



Abbildung 11, Anordnung der Töpfchen in der DWC



Abbildung 12, Grundaufbau der DWC

Das andere System, welches aufgebaut wurde, wird als **NFT** (Nährstoffilmtechnik) bezeichnet. Diese Hydroponic-Einheit bestand aus vier PVC- Röhren mit einer Länge von jeweils zwei Metern und einem Durchmesser von 110mm. Diese wurden in 25cm-Abständen mit denselben Gittertöpfchen bestückt. Damit sich die Pflanzen darin verwurzeln konnten, wurden diese ebenfalls mit Blähton aufgefüllt. Die Röhren wurden waagrecht auf einem Gestell aus zwei horizontal montierten Latten mit einem Lochband aus Aluminium fixiert. Damit das Wasser wieder in den Fischteich zurückfloss, wurde die andere Seite mit einem Rohrabschluss abgedichtet. Das Wasser aus dem Pumpensumpf wurde mit einem lichtundurchlässigen Schlauch bis zu den Röhren gepumpt. Durch drei T-Stücke wurde das Wasser auf die vier Röhren aufgeteilt. Der Wasserstand in den Röhren konnte durch Rohrverjüngungen, welche am Ende der Rohre angebracht wurden, reguliert und somit dem Wachstum angepasst werden. Anschliessend an die Röhren gelangte das Wasser mit der Schwerkraft wieder zurück in den Fischteich. Der Höhenunterschied zwischen den Röhren und des Wasserstandes des Fischteichs führt zu einer erwünschten Sauerstoffanreicherung des Wassers im Fischteich. Somit kann eine künstliche Sauerstoffanreicherung durch eine Luftpumpe umgangen werden.



Abbildung 14, Aufbau der NFT



Abbildung 13, Folienbedeckung bei der DCW

Mit einer lichtdurchlässigen Gartenfolie wurde für beide Systeme eine Art Gewächshaus geschaffen. Dafür wurde ein etwa 120cm hohes Holzgerüst aufgebaut, woran die Folie befestigt wurde. Es wurden jedoch nur zwei Seiten und das Dach fix zugedeckt. Eine schmale Seite wurde für die Belüftung komplett offen gelassen. Bei starker Hitze konnte eine der breiteren Seiten hochgebunden werden, um die Gewächse vor Überhitzung zu schützen. Dieser Aufbau führt zu einer höheren Temperatur und Luftfeuchtigkeit unter der Folie. Diese Faktoren beschleunigen das Wachstum der Pflanzen und führen zu einer Ernteverfrüfung. Zusätzlich kann die Kultivierungszeit der Outdoor-Anlage deutlich verlängert werden. Ein weiterer Vorteil beim Einsatz dieser Folien ist, dass die Pflanzen dadurch vor allem im Früh- und Spätjahr vor Kälte und Frost geschützt werden. [18]

2.1.5 Verwendete Pflanzen

Für die Hydroponic-Systeme wurden schnellwachsende Pflanzen verwendet, welche eher pflegeleicht sind. Da Salat bereits oft erfolgreich für Aquaponic-Anlagen eingesetzt wird, wurde dieser in höheren Stückzahlen eingesetzt. Durch Verwendung drei verschiedener Sorten konnte ermittelt werden, welche Sorte am besten für den Einsatz in diesem Aquaponic-System geeignet ist. Petersilie und Basilikum wurden jeweils nur zweimal und die Zucchini nur einmal gepflanzt, um festzustellen, ob diese überhaupt in einer Hydroponic-Einheit wachsen können. Insgesamt wurden auf jeweils zwei Quadratmetern 32 Pflanzen eingesetzt. Bei beiden Systemen wurden folgende Pflanzen verwendet:

- 8 Kopfsalate (*Lactuca sativa var. capitata*)
- 8 Lollo Bionda (*Lactuca sativa div. Varietas*)
- 11 Eichblattsalat rot (*Lactuca sativa var. Acephala*)
- 2 Petersilie (*Petroselinum crispum*)
- 2 Basilikum (*Ocimum basilicum*)
- 1 Zucchini (*Cucurbita pepo subsp. pepo convar. giromontiina*)

Alle Pflanzen wurden im Landi-Markt als kleine Setzlinge eingekauft und anschliessend in den oben genannten Stückzahlen in die zwei verschiedenen Hydroponic-Systeme eingepflanzt. Beim Eichblattsalat wurden elf Setzlinge gepflanzt, jedoch nur acht in die Bewertung einbezogen. Bei der Anordnung der Pflanzen wurde Wert auf eine gute Verteilung der einzelnen Sorten gelegt. Somit wurde keine Sorte durch eventuell vorhandenen Standortvorteilen, wie bessere Lichtverhältnisse oder einen höheren Nährstoffgehalt, bevorzugt.

Alle Pflanzensetzlinge wurden am 14. Mai eingepflanzt und nach acht Wochen geerntet.

2.2 Versuchsanordnung

2.2.1 Einlaufphase

Die Goldfische wurden vier Wochen vor Versuchsbeginn eingesetzt. Um zu verhindern, dass der Wechsel vom alten zum neuen Teich gefährlich wurde, wurden die Fische während zwei Stunden in einem Behälter mit Wasser aus ihrem früheren Teich, durch Zugabe von Wasser aus dem neuen Teich, an die neue Wasserchemie gewöhnt. Aufgrund der kalten Temperaturen frassen diese jedoch zu Beginn noch nichts. Nach etwa zwei Wochen begannen die Fische richtig zu fressen.

Zwei Wochen vor Versuchsbeginn wurde dem Wasser das Produkt „BioKick fresh“ von Oase hinzugefügt. Diese in einem schonenden Verfahren gefriergetrockneten Mikroorganismen werden durch den Kontakt mit einer flüssigen Nährlösung aktiviert. Dies führt zu einer deutlichen Verkürzung der Einlaufzeit der biologischen Filtermedien. Somit wurde die volle Filterleistung und somit auch die Nitrifikation der Fischausscheidungen innerhalb von 1-2 Wochen sichergestellt [19].

2.2.2 Messung der Gewichtszunahmen des Gemüses

Bei den Pflanzen wurde vor dem Einbringen in die Anlage das Gewicht der einzelnen Setzlinge mit den von der Erde befreiten Wurzeln gewogen. Während dem Wachstum konnte man die Pflanzen nicht aus dem Töpfchen entnehmen, da die Wurzeln sonst beschädigt worden wären. Deshalb wurde das gesamte Gewicht, inklusive Blättern, gewogen und anschliessend das Gewicht des Gittertöpfchen und des Blätterns wieder abgezogen. Somit erhielt man wiederum nur das Gewicht der Pflanzen mit den Wurzeln. Dieser Vorgang wurde während acht Wochen jeweils nach zwei Wochen wiederholt. Als die Versuchszeit abgelaufen war, wurde nochmals das Gewicht mit den Wurzeln gewogen. Zusätzlich wurde bei der letzten Messung das Gewicht der Pflanzen ohne Wurzeln erhoben. Dieser Teil der Pflanzen sollte möglichst gross sein, da nur dieser gegessen werden kann. Mit dieser Technik wurde das Pflanzenwachstum in den zwei Hydroponic-Anlagen dokumentiert.

2.2.3 Messung der Wasserwerte

Während der gesamten Versuchsphase wurde wöchentlich der Nitrat- und Nitritgehalt und der pH-Wert gemessen. Diese Werte wurden mit den Produkten Test NO_2^- und Test NO_3^- von der Marke Tetra bestimmt. Gemäss der beigelegten Anleitungen wurden den Wasserproben die Testreagenzien und das Testpulver hinzugegeben. Durch eine Verfärbung der Probe konnte mit Hilfe einer beigelegten Farbskala die Werte abgelesen werden. Mit dieser eher günstigen Testmethode konnten die Werte nicht ganz genau bestimmt, sondern nur in einem gewissen Bereich lokalisiert werden. Die Werte konnten in den folgenden Konzentrationen angegeben werden: $>0,3 \text{ mg/l}$, $12,5 \text{ mg/l}$, 25 mg/l , 50 mg/l und 100 mg/l . Da mit diesen Messungen bloss überprüft werden wollte, ob die Wasserwerte im gewünschten Bereich lagen, wurde die Anwendung dieses Tests teuren Wasseranalysen vorgezogen. Der pH-Wert wurde ebenfalls wöchentlich mit einem pH-Meter bestimmt.

Nach der Ernte wurden die Wasserwerte, ohne den Betrieb einer Hydroponic-Anlage, während drei Wochen wöchentlich gemessen, um festzustellen, wie sich die Wasserwerte ohne den Einsatz eines Hydroponic-Systems entwickelten.

2.2.4 Vergleich zum Anbau im Garten

Um die Vor- und Nachteile gegenüber einem kommerziellen Gemüseanbau festzustellen, wurden jeweils pro Salatsorte zwei Setzlinge konventionell in Erde angepflanzt. Diese wurden einmalig mit 50g/m² Coop Oecoplan Gartendünger gedüngt. Im Vorjahr waren auf dieser Fläche Kartoffeln angepflanzt worden. Diese Salate wurden ebenfalls nach zwei Monaten geerntet und mit den Pflanzen aus der Aquaponic-Anlage im Gewicht verglichen.

3 Resultate

3.1 Wasserwerte

Während den acht Wochen Betriebszeit der beiden Aquaponic-Anlagen wurde in beiden Systemen wöchentlich die Wasserwerte gemessen. Anschliessend wurde die Aquakultur ohne den Betrieb der Hydroponic-Einheiten während drei Wochen betrieben. Es wurden wöchentlich Wasseranalysen durchgeführt.

In beiden Systemen wurde während den ersten acht Wochen konstant eine Nitratkonzentration von 12,5 mg/l gemessen. Im Betrieb ohne den Einsatz einer Hydroponic-Einheit stieg der gemessene Nitratwert in beiden Systemen innerhalb von drei Wochen auf 25 mg/l an. Die Nitritwerte lagen in beiden Systemen konstant unter 0,3 mg/l.

Tabelle 1, Nitrat- und Nitritwerte der Aquaponic-Anlage mit dem NFT-System im Verlauf der elf Wochen Versuchszeit

Zeit (Wochen)	0	2	4	6	8	9	10	11
NO ²⁻ (mg/l)	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3
NO ³⁻ (mg/l)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	25

Tabelle 2, Nitrat- und Nitritwerte der Aquaponic-Anlage mit der DWC im Verlauf der elf Wochen Versuchszeit

Zeit (Wochen)	0	2	4	6	8	9	10	11
NO ²⁻ (mg/l)	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3	>0,3
NO ³⁻ (mg/l)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	25

Der pH-Wert beider Systeme bewegte sich während den elf Wochen im Bereich zwischen 7,6 und 8,3. Die pH-Werte der Anlage mit der NFT sind mehrheitlich höher als bei der Aquaponic mit der DWC. Die Unterschiede zwischen den beiden Anlagen sind jedoch sehr gering.

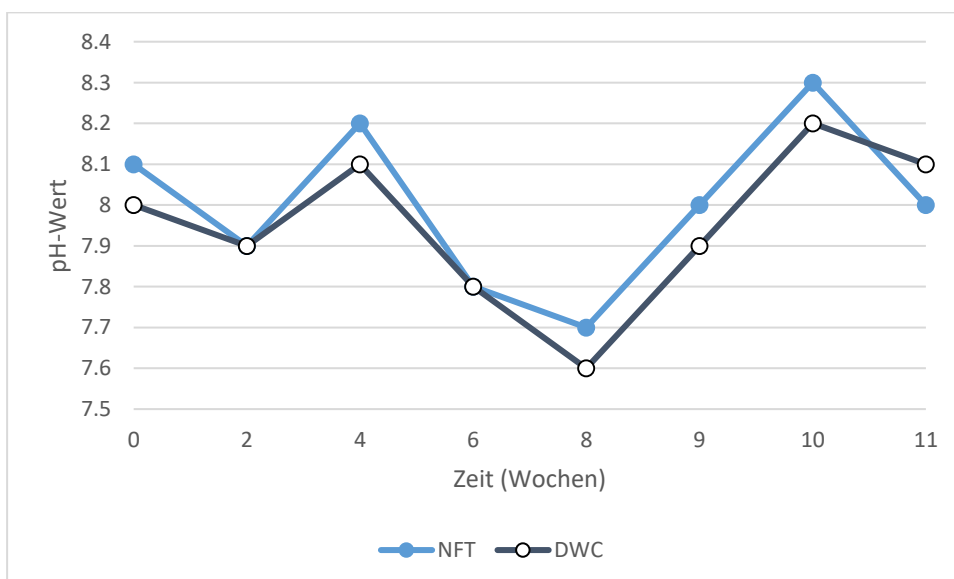


Abbildung 15, Verlauf des pH-Werts in den beiden Aquaponic-Anlagen mit den verschiedenen Hydrokulturen, die Wochen 9-11 wurden ohne des Einsatzes der Hydrokultur betrieben

3.2 Pflanzenversuche

3.2.1 Salate

Alle drei verwendeten Salatsorten legten während den acht Wochen Versuchszeit deutlich an Biomasse zu. Jedoch gibt es starke Unterschiede zwischen den Sorten. In beiden Hydroponic-Anlagen wuchs der Eiblattsalat rot am schlechtesten. Der Lollo Bionda und der Kopfsalat wuchsen gemäss der Gewichtszunahme etwa gleich gut. In der NFT verkümmerte ein Kopfsalat und in der DWC ein Lollo Bionda. Diese Salate wurden aus dem Versuch ausgeschlossen.

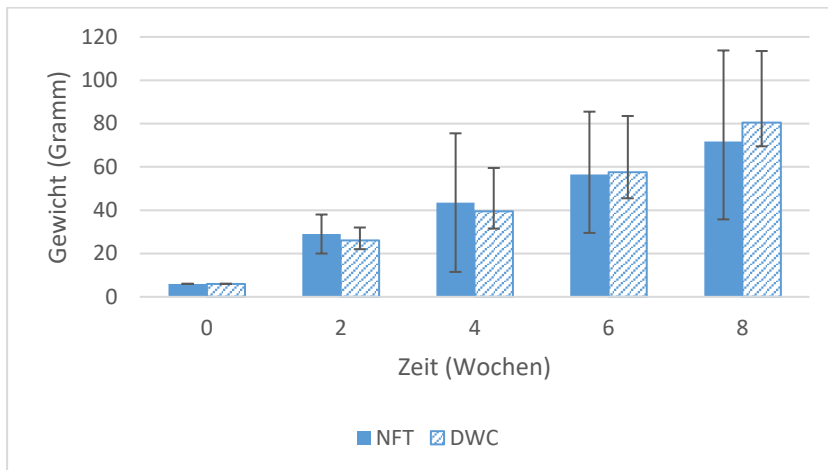


Abbildung 16, Vergleich der beiden Aquaponic-Systeme mit den Hydroponic-Einheiten Nährstoff Film Technik (NFT) und Deep Water Culture (DWC) in Verbindung mit Eiblattsalat rot. Der dargestellte Wert ist der Mittelwert der gesamten Biomasse. Die Abweichungen zeigen die maximale und minimale Differenz vom Mittelwert. In die Auswertung flossen jeweils acht Salate ein.

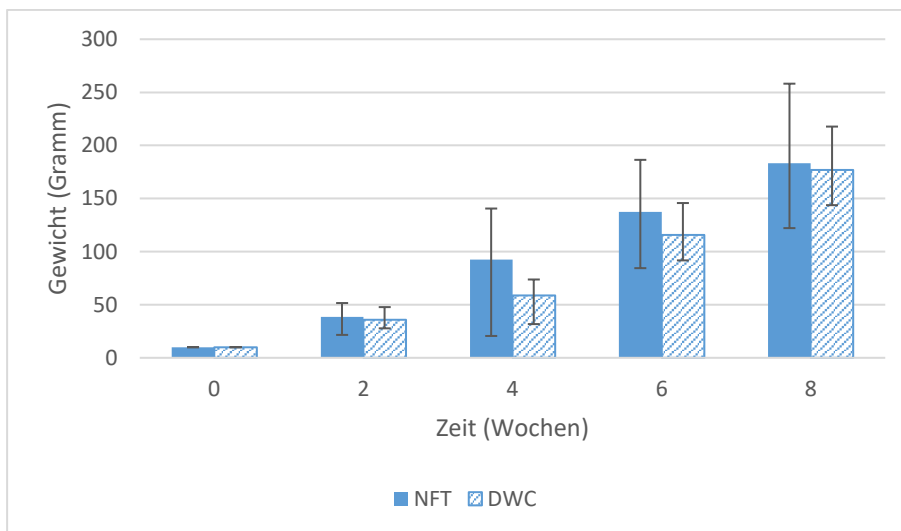


Abbildung 17, Vergleich der beiden Aquaponic-Systeme mit den Hydroponic-Einheiten Nährstoff Film Technik (NFT) und Deep Water Culture (DWC) in Verbindung mit Kopfsalat. Der dargestellte Wert ist der Mittelwert der gesamten Biomasse. Die Abweichungen zeigen die maximale und minimale Differenz vom Mittelwert. Bei der NFT flossen sieben und bei der DWC acht Kopfsalate in die Bewertung ein.

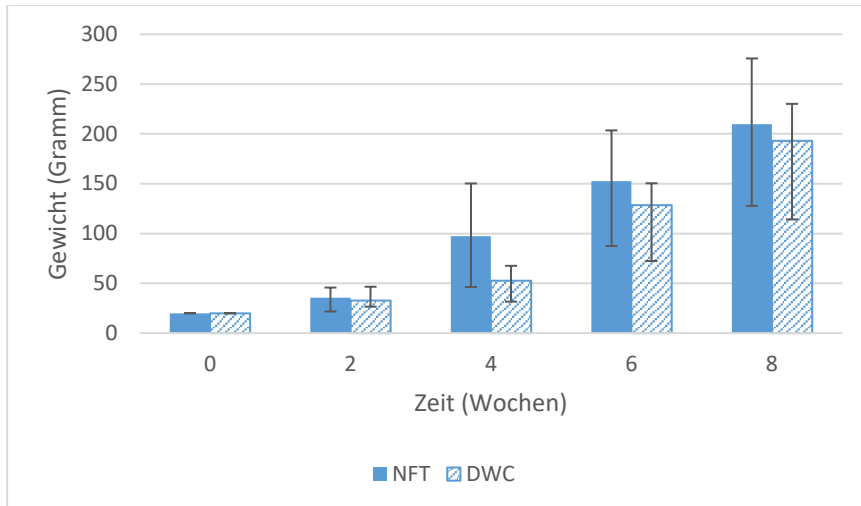


Abbildung 18, Vergleich der beiden Aquaponic-Systeme mit den Hydroponic-Einheiten Nährstoff Film Technik (NFT) und Deep Water Culture (DWC) in Verbindung mit Lollo Bionda. Der dargestellte Wert ist der Mittelwert der gesamten Biomasse. Die Abweichungen zeigen die maximale und minimale Differenz vom Mittelwert. Bei der NFT flossen acht und bei der DWC sieben Salate in die Bewertung ein.

In den Abbildungen 19-21 ist zu erkennen, dass der Wurzelanteil aller Salate, welche in Aquaponic-Systemen wuchsen, prozentual grösser ist, als der Salat aus dem Garten.

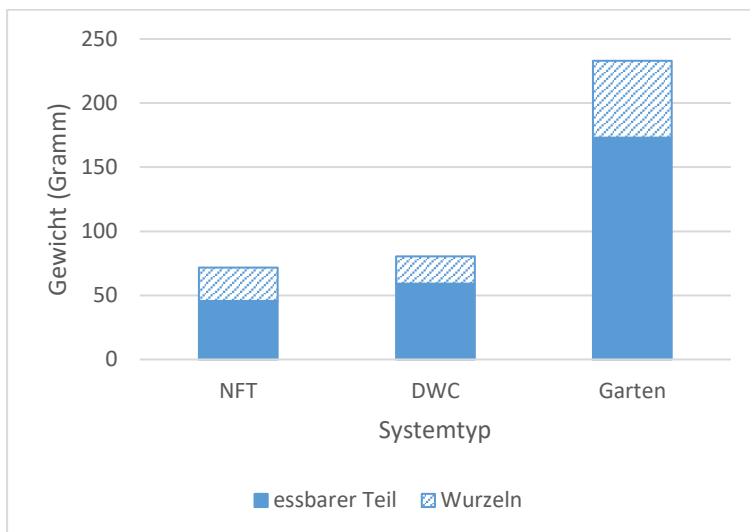


Abbildung 19, Das Diagramm zeigt den Mittelwert des Gewichts des Eichblattsalates rot, welches in essbaren Teil und Wurzelmasse aufgeteilt ist. Bei der NFT und der DWC wurden jeweils 8 Pflanzen und beim Garten zwei Pflanzen in die Auswertung einbezogen. Diese Werte wurden nach acht Wochen in den verschiedenen Systemtypen gemessen.

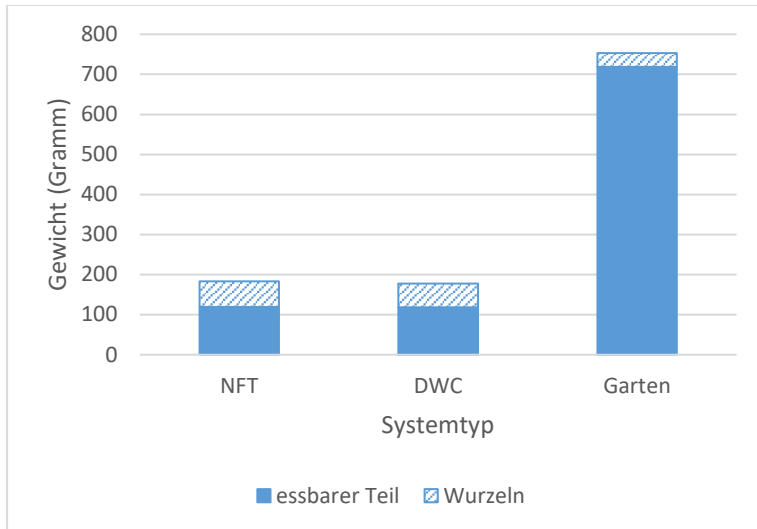


Abbildung 20, Das Diagramm zeigt den Mittelwert des Gewichts des Kopfsalates, welches in essbaren Teil und Wurzelmasse aufgeteilt ist. Bei der NFT flossen sieben, bei der DWC acht und beim Garten zwei Pflanzen in die Auswertung ein. Diese Werte wurden nach acht Wochen in den verschiedenen Systemtypen gemessen.

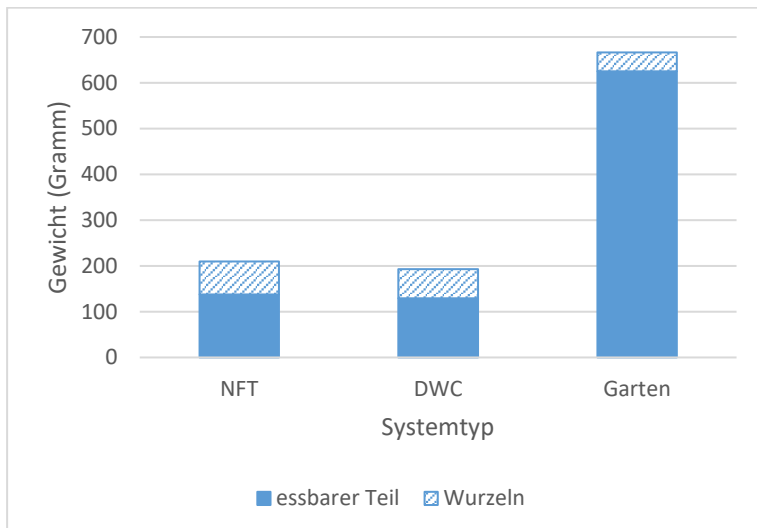


Abbildung 21, Das Diagramm zeigt den Mittelwert des Gewichts des Lollo Biondas, welches in essbaren Teil und Wurzelmasse aufgeteilt ist. Bei der NFT flossen acht, bei der DWC sieben und beim Garten zwei Pflanzen in die Auswertung ein. Diese Werte wurden nach acht Wochen in den verschiedenen Systemtypen gemessen.

Die Abbildung 22 zeigt die Gegenüberstellung aller Salatsorten und den verschiedenen Kultivierungsmethoden. Bei allen Systemtypen wuchs der Eichblattsalat rot deutlich am schlechtesten. Der Kopfsalat und der Lollo Bionda wuchsen in beiden Hydroponic-Systemen etwa gleich gut. Jedoch sind die Salate aus dem Garten denen aus der Hydroponic deutlich überlegen.

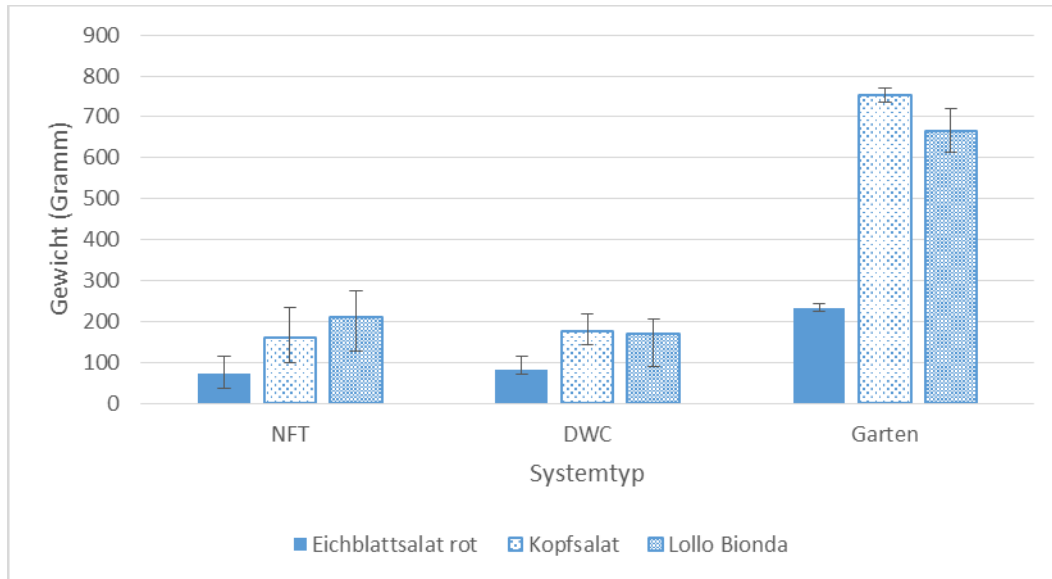


Abbildung 22, durchschnittliche Masse nach acht Wochen der Salatsorten in den drei verschiedenen Systemtypen. Die Abweichungen zeigen den minimalen und maximalen Unterschied zum Mittelwert.

Die Abbildungen 23 und 24 zeigen die oben in Zahlen beschriebene Entwicklung ebenfalls. Die Abbildung 23 zeigt eine in der Hydrokultur gewachsene Pflanze, die Abbildung 24 eine, welche im Garten gewachsen ist. Die Wurzeln, welche in der Hydrokultur wuchsen sind dünner, jedoch deutlich länger.



Abbildung 23, Eichblattsalat grün aus der NFT



Abbildung 24, Wurzeln vom Eichblattsalat grün, welcher im Garten kultiviert wurde

3.2.2 Kräuter

Das Gewicht der Kräuter wurde ebenfalls während den acht Wochen alle zwei Wochen bestimmt. Die Kräuter konnten alle während der Versuchszeit kein Massenwachstum vollbringen. Einige Pflanzen gingen gänzlich ein.

Tabelle 3, Mittlere Gewichtsentwicklung von Basilikum und Petersilie bei der NFT. Es flossen jeweils zwei Pflanzen in die Auswertung ein.

Zeit (Wochen)	0	2	4	6	8
Basilikum (g)	20	23	29	20	20
Petersilie (g)	20	4	5	3	2

Tabelle 4, Mittlere Gewichtsentwicklung von Basilikum und Petersilie in der DWC. Es flossen jeweils zwei Pflanzen in die Auswertung ein.

Zeit (Wochen)	0	2	4	6	8
Basilikum (g)	20	22	6	6	7
Petersilie (g)	20	24	12	16	20

Die verwendeten Kräuter wiesen alle in beiden Hydroponic-Anlagen gelbe oder braune Verfärbungen auf.



Abbildung 24, , Basilikum nach zwei Wochen in DWC



Abbildung 23, Petersilie nach zwei Wochen in NFT-System

3.2.3 Zucchini

Gemäss der Gewichtszunahme entwickelte sich die Zucchini in der NFT etwas besser. In beiden Systemen bildeten die Pflanzen bereits erste Blüten.

Tabelle 5, Verlauf der Massenzunahme während den acht Wochen Versuchszeit in den zwei verschiedenen Hydroponic-Systemen. Es floss pro System eine Pflanze in die Bewertung ein.

Zeit (Wochen)	0	2	4	6	8
NFT (g)	26	44	80	108	150
DWC (g)	26	70	72	86	116

3.3 Geschmack

Im subjektiven Geschmackstest durch sechs Personen wurde festgestellt, dass alle Salatsorten aus den Aquaponic-Anlagen deutlich bitterer waren als jene, welche im Garten gewachsen sind.

3.4 Kosten

Die Kosten für die beiden Systeme liegen jeweils etwa bei 250 CHF. Dieser Preis setzt sich aus den Kosten für die Materialien, welche für den Bau der Hydroponic-Systeme und die Biofilter benötigt wurden, zusammen.

4 Diskussion

4.1 Wasserqualität

Die für die Goldfischhaltung angestrebte Wasserqualität konnten mit beiden Systemen während der ganzen Versuchszeit erfüllt werden. Aufgrund der tiefen Nitritwerte ist sichergestellt, dass die Dimensionierung des Biofilters ausreichte, damit eine vollständige und dauerhafte Nitrifikation der Fischausscheidungen stattfinden konnte [20]. Der Nitratgehalt lag konstant bei optimalen 12,5mg/l, dies entspricht der Hälfte des für die Fischhaltung vertretbaren Maximalwertes von 25mg/l. Dies kann zusätzlich durch die optische Wahrnehmung der Wasserqualität bestätigt werden. Denn im Wasser fand keine Trübung durch eine Algenblüte statt, welche die Sicht auf den Grund des ein Meter tiefen Teiches beeinträchtigt hätte. Aufgrund dieser Beobachtung und den tiefen Nitratwerten kann davon ausgegangen werden, dass nur die Pflanzen in der Hydroponic-Einheit die Nährstoffe aufgenommen haben.

Nachdem die Pflanzen geerntet wurden, wurde die Aquakultur ohne den Einsatz der Hydroponic-Einheit weiterhin betrieben. Dies führte in beiden Anlagen innerhalb von drei Wochen zu einer Verdoppelung des Nitratgehalts. Dies beweist, dass die Verwendung eines Hydroponic-Systems als Filterung eines Goldfischteiches optimal funktioniert.

Die pH-Werte lagen in beiden Systemen in einem für die Goldfischhaltung günstigen Bereich. Jedoch waren die Werte von 7,6 bis 8,3 für den Betrieb einer Aquaponic eher hoch. Obwohl die Nitrifikation bei einem tieferen pH-Wert langsamer abläuft, wird für ein Aquaponic-System ein pH-Wert von 6,5 bis 7 empfohlen [21]. Die hohen pH-Werte lassen darauf schließen, dass gute Voraussetzungen für den Biofilter vorlagen. Somit sollte der grösste Teil des von den Fischen ausgeschiedenen Ammoniaks in Nitrat umgewandelt worden sein. Jedoch wurde den Pflanzen durch den hohen pH-Wert die Aufnahme der Nährstoffe erschwert.

4.2 Eignung der Pflanzen

Wie man an der Entwicklung der Biomasse sieht, konnten das Basilikum und die Petersilie keine Biomasse zulegen. Die Kräuter, wie auch einige der grünen Salate, wiesen gelblich verfärbte Blätter auf. Dies ist ein Hinweis auf einen Nährstoffmangel [22]. Das bedeutet, dass vor allem die Kräuter für den Anbau in diesem System nicht geeignet sind. Durch einige Veränderungen an der Anlage könnte diese Erscheinung bei den Salaten möglicherweise verhindert werden. In einer Studie, welche in den USA 2003 durchgeführt wurde, wurde eine Outdoor-Aquaponic-Anlage betrieben. Dafür wurde Basilikum und Tilapia verwendet. Das durch die Fische mit Nährstoffen angereicherte Wasser floss durch eine 61 Meter lange Hydroponic-Einheit. Es traten ähnliche Merkmale auf wie bei dieser Arbeit. 15,3% des angebauten Basilikums gingen während der Kultivierungszeit ein. Vor allem das Basilikum, welches am Ende der Hydroponic wuchs, wies gelbliche Stellen auf. Dies wird, wie auch in dieser Untersuchung, auf den zu geringen Nährstoffgehalt der Nährlösung zurückgeführt [23].

Im Geschmackstest wurde festgestellt, dass alle Salate aus der Aquaponic-Anlage einen deutlich bitteren Geschmack aufwiesen. In einer Studie, die 2015 von Chito F. Sace zur Aquaponic durchgeführt wurde, wies das Wasser einen optimalen pH-Wert zwischen 5,8 und 6,8 auf. Die Pflanzen entwickelten trotzdem einen bitteren Geschmack und eine gelbliche Verfärbung der Blätter. Dies wurde auf die erhöhte Temperatur des Wassers und der Umgebungsluft zurückgeführt. Salat wächst am besten bei einer Temperatur von 15 bis 22 °C [24]. In der vorliegenden Studie wurde die Anlage outdoor betrieben. Dies hatte ebenfalls Temperaturschwankungen zur Folge. Vor allem tagsüber wurden teilweise deutlich höhere Temperaturen erreicht als 22 °C.

Das langsame Wachstum und die Verfärbungen der Blätter sind vermutlich auf eine zu geringe Nährstoffkonzentration im Wasser zurückzuführen. Es wird angenommen, dass eigentlich genügend Nitrat produziert wurde, welches sich jedoch aufgrund des hohen Wasservolumens stark verdünnte. Dies ist vor allem auf die Tierschutzkonforme Haltung der Fische zurückzuführen, denn es wurde eine sehr kleine Besatzdichte eingesetzt.

Standardnährlösung für eine reine Hydroponic-Anlage sollte bei etwa 225 mg/l liegen [25]. Somit ist die erstrebenswerte Konzentration etwa 28 Mal grösser als der Nitratwert, welcher mit dem Goldfischteich erreicht wurde.

4.3 Vergleich der beiden Hydroponic-Systeme

Der Vergleich der Erntegewichte der drei verschiedenen Salatsorten (Abbildungen 16-18) zeigt, dass die mittlere Gewichtszunahme der jeweiligen Salatsorte bei beiden Systemen etwa gleich war. Jedoch gibt es bei allen Mittelwerten starke Abweichungen nach oben und unten. Ausserdem ist deutlich festzustellen, dass während der Wachstumszeit die Pflanzen im NFT-System durchschnittlich schwerer waren. Das könne darauf hinweisen, dass die Pflanzen nicht wie anfangs angenommen einen konstanten Nährstoffbedarf benötigen, sondern am Anfang weniger und mit der Zeit immer mehr. Somit würde die NFT im Gegensatz zur DWC das Wachstum bei genügend grossen Nährstoffvorkommen begünstigen. Ab der vierten Wochen nimmt der Vorsprung der Pflanzen in der NFT tendenziell wieder ab. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Pflanzen ab diesem Zeitpunkt mehr Nährstoffe benötigt hätten und somit nicht mehr die Art der Hydroponic der Faktor für das Wachstum war sondern die Menge an Nährstoffen.

Ein deutlicher Vorteil des NFT-Systems liegt in der Möglichkeit, dass die Röhren mit geringen Änderungen des Aufbaus auch übereinander aufgebaut werden können. Somit können auf einer kleineren Fläche mehr Pflanzen kultiviert werden. Ausserdem kann dieses System bei zu geringer Filterwirkung einfacher erweitert werden.

Die Materialkosten für den Aufbau der beiden Aquaponic-Anlagen liegen für beide Typen bei etwa 250 Franken. Der Zeitaufwand für den Aufbau der beiden Systeme ist ebenfalls etwa gleich gross.

4.4 Kosten-und Zeitaufwand Vergleich konventioneller Filter

Ein vergleichbarer Druckteichfilter der Marke Oase kostet etwa 250 CHF. Dieser ist auf ein Wasservolumen von 2 m³ mit Fischbesatz ausgerichtet. Somit ist die Investition in den Eigenbau einer Hydroponic-Anlage etwa gleich, jedoch zeitintensiver, als der Neukauf eines Filters. Jedoch werden bei einem herkömmlichen Teichfilter die toxischen Fischausscheidungen durch die Filterung nur in weniger schädliches Nitrat umgewandelt. Dies kann zu starkem Algenwachstum oder Algenblüten führen, welche in einem Fischteich nicht erwünscht sind. Somit müssen die im Filter angesammelten Feststoffe manuell entfernt werden und durch Wasserwechsel die Konzentration von Nitrat gesenkt werden. Was wiederum während der Betriebszeit zeitaufwändig ist und Kosten verursacht.

In der Aquaponic werden die Fischausscheidungen hingegen aus dem System entnommen und nicht nur in Nitrat umgewandelt, sondern dieses anschliessend auch in Biomasse in Form von Gemüse welches gegessen werden kann. Somit können einige Nährstoffe, welche mit dem Fischfutter eingetragen werden, zurückgewonnen werden. Dies ist sinnvoll, da auch das

Fischfutter bei allen Filtermethoden kostet. Durch die Produktion von Gemüse kann man somit einen Kostenvorteil mit der Hydroponic erzielen. Auf lange Sicht ist somit die Anwendung eines Hydroponic-Systems als Teichfilter günstiger und auch wartungsärmer. Der bei der Aquakultur eingesetzte Biofilter hätte vermutlich eine ähnliche Filterleistung, wobei dann auch grosse Teilwasserwechsel vorgenommen werden müssten.

4.5 Vergleich mit Anbau im Garten

Die Salate, welche im Garten angepflanzt wurden, konnten im Verlauf der acht Wochen durchschnittlich etwa dreimal mehr Biomasse entwickeln. Dieser enorme Unterschied zeigt, dass die Bedingungen in der Aquaponic-Anlage nicht optimal für das Wachstum der Salate sind. Bei der Betrachtung der Zusammensetzung der Salate stellt sich heraus, dass alle Salate aus den Hydroponic-Einheiten prozentual mehr Wurzelmasse entwickelten, als die Salate aus dem Garten. Durch das geringere Nährstoffangebot bildeten die Hydro-Salate mehr Wurzel, damit sie mehr Nährstoffe aufnehmen konnten. Somit mussten diese Pflanzen jedoch mehr Energie für die Bildung der Wurzeln aufwenden, wodurch weniger Nährstoffe für die Bildung der Blätter zur Verfügung standen und diese somit weniger gross wurden.

Der deutliche Vorteil der Aquaponic-Anlage gegenüber dem Anbau im Garten liegt jedoch darin, dass die Pflanzen bloss in die Hydroponic-Einheit gepflanzt werden müssen und bis zum Verzehr kein Mehraufwand mehr entsteht. Denn das Entfernen von Unkraut, schützen vor Fressfeinden und Bewässern der Pflanzen fällt mit dieser Technik komplett weg. Das Füttern der Fische wird nicht als Arbeit aufgefasst.

Beim Anbau im Garten entstehen zusätzlich zur Mehrarbeit weitere Kosten durch den Einsatz von Düngermitteln. Im Gegensatz dazu wird mit der Aquaponic während des Betriebes Geld gespart, indem die durch das Fischfutter eingebrachten Nährstoffe zurückgewonnen werden können.

4.6 Eignung eines Hydroponic-Systems als Teichfilter

Trotz den guten Wasserqualitäten, welche erreicht wurden, eignen sich diese beiden Hydroponic-Anlagen, welche aufgebaut wurden, nur bedingt als Ersatz für einen Teichfilter.

Die Besatzungsdichte der Goldfische, welche für den Versuchsaufbau gewählt wurde, war für einen Goldfischteich eher hoch. Jedoch reichte diese nicht aus, um genügend Nährstoffe für die eingesetzte Stückzahl der Pflanzen zu liefern. Ausserdem könnte es sein, dass die Pflanzen in den Hydroponic-Systemen nicht nur zu wenig Nitrat, sondern auch zu wenig Mineralien, Eisen und Spurenelemente zur Verfügung hatten. Diese sind zwar zu einem gewissen Teil im Wasser und im Futter der Fische enthalten, vermutlich wurden diese jedoch schnell von den Pflanzen aufgenommen und standen später nicht mehr im Wasser zur Verfügung. Dies könnte auch eine Erklärung für den Rückgang des Wachstums bei den Pflanzen in der NFT sein.

Bei einem normalen Goldfischteich wird die Besatzdichte vermutlich geringer sein. Somit entstehen noch weniger Nährstoffe, welche vom Gemüse aufgenommen werden kann. Zusätzlich werden in Goldfischteichen oft Wasserpflanzen gepflanzt, welche den Nährstoffgehalt im Wasser ebenfalls senken.

Ausserdem muss der Aquakultur-Teil, also der Goldfischteich, möglichst gut beschattet werden, damit sich kein Algenwachstum bildet. Denn die Algen würden dem Wasser einerseits die Nährstoffe entziehen, welche dann nicht mehr dem Gemüse zur Verfügung stehen würden und andererseits wäre dies optisch nicht schön. Dies kann einige Teichbesitzer möglicherweise stören, da so die Sicht auf den Teich eingeschränkt wird.

Ein weiterer Nachteil der Anlage ist, dass für die Hydroponic-Einheit eine deutlich grössere Fläche benötigt wird, als für einen herkömmlichen Teichfilter.

4.7 Weitere Untersuchungen

In weiteren Untersuchungen könnte die Eignung von anderen Hydroponic-Systemen in Verbindung mit einem Goldfischeich getestet werden.

Durch eine geringere Anzahl von Pflanzen würde die Aufnahme von Nitrat gesenkt und somit würden den restlichen Pflanzen mehr Nährstoffe zur Verfügung stehen. In weiteren Untersuchungen müsste erforscht werden, ob mit weniger Pflanzen die gleiche Filterleistung erzielt werden kann und die Pflanzen besser wachsen.

Eine andere Möglichkeit diesem Nährstoffmangel entgegen zu wirken wäre, dass die Anzahl der Fische erhöht werden könnte. Dies widerspricht jedoch einer artgerechten Haltung von Goldfischen. Denn bereits eine Dichte von 10 Fischen pro Kubikmeter Wasser ist für eine Teichhaltung von Zierfischen eher hoch. Durch eine höhere Besatzungsdichte würden die Fische nur unnötig gestresst und wären in Folge des Stresses anfälliger für Erkrankungen. Eine weitere Folgeerscheinung von zu hohem Besatz ist, dass das Wachstum der Fische verlangsamt wird. [12] Zusätzlich bräuchten mehr Fische auch mehr Futter. Bei den Aquaponic-Systemen mit Speisefischen steht nicht das Wohl der Fische an erster Stelle, sondern die Wirtschaftlichkeit. So werden für solche Anlagen Besatzdichten von bis zu 50 kg/m³ eingesetzt [3]. Dies ist jedoch nur durch eine professionelle Anlage und Überwachung des ganzen Systems möglich. Ausserdem könne durch die Erhöhung der Besatzungsdichte eine unerwünschte Trübung provoziert werden. Somit würde der positive Effekt des Filters für die Reinigung des Wassers wegfallen [3].

Eine andere Option den Nährstoffgehalt zu erhöhen, wäre der Einsatz von Düngemitteln. O. Paschen untersuchte in einer Studie das Wachstum von Gurken in einem Aquaponic-System und ob eine zusätzliche Düngung notwendig ist. Er kam zum Entschluss, dass eine zusätzliche Düngung für ein optimales Wachstum unumgänglich ist. Denn auch bei dieser Anlage wurde nur einen maximalen Nitratgehalt von 70 mg/l erreicht [26]. Eine zusätzliche Düngung führt jedoch zu Mehrkosten. Ausserdem ist fraglich, ob dies die Gesundheit der Goldfische nicht gefährdet. Auch diese Methode wird eher als ungeeignet angesehen, um das Wachstum der Pflanzen zu verbessern, denn in diesem Versuch war das wichtigste Ziel des Einsatzes einer Hydroponic-Anlage, dass eine optimale Wasserqualität erreicht werden kann.

Damit die Gewächse die vorhandenen Nährstoffe besser aufnehmen können, müsste der pH-Wert gesenkt werden. Ob dies tatsächlich einen positiven Einfluss auf das Pflanzenwachstum hat, müsste in weiteren Versuchen erforscht werden.

Durch weitere Versuche könnte möglicherweise eine Nutzpflanze gefunden werden, welche besser mit diesem tiefen Nährstoffgehalt zurechtkommt.

Falls keine andere Pflanze gefunden werden kann, müsste man ganz vom Gemüseanbau wegkommen. In weiteren Versuchen könnte beispielsweise mit Schnittblumen experimentiert werden. Rosen (*Rosa*) wurden bereits erfolgreich in Aquaponic-Systemen kultiviert [27]. Mit der Erzeugung von Schnittblumen könnte somit immer noch einen zusätzlichen Nutzen erreicht werden. Der Einsatz von Schilfrohr, welches bereits oft erfolgreich für biologische Kläranlagen eingesetzt wird [28], wäre eine andere Möglichkeit. Jedoch würde durch das Schilf keinen Zusatznutzen, wie das Erzeugen von Nahrungsmitteln, erreicht.

Eine weiterentwickelte Form dieser Anlage als Filter könnte auch bei der Haltung anderer Zierfische im Teich oder auch im Aquarium zum Einsatz kommen.

4.8 Methodenkritik

Der grösste Kritikpunkt an die Methodik ist, dass die die Nitrit-und Nitratwerte nicht exakt bestimmt wurden. Denn mit der angewendeten Messungen konnten die Werte nur in einem gewissen Bereich lokalisiert werden. Durch eine genauere Messung dieser Werte wäre eine genauere Auswertung des Verlaufes dieser möglich gewesen. Ausserdem wäre eine Messung der Ammonium und Ammoniakkonzentration spannend gewesen. Somit hätte gänzlich sichergestellt werden können, dass alle Wasserwerte durch die Hydroponic in einem optimalen Bereich gehalten werden.

Da die Temperatur nicht gemessen wurde, kann keine Aussage gemacht werden, ob der bittere Geschmack und die gelben Blätter dadurch verursacht worden sind.

Mit dieser Untersuchung wurde gleichzeitig die Tauglichkeit einer Hydroponic-Anlage als Filter und die Eignung verschiedener Pflanzen für die Aquaponic-Anlage untersucht. Somit kann schlussendlich nicht deutlich ausgesagt werden, aus welcher Ursache die Pflanzen im Aquaponic-System nicht optimal gewachsen sind. Für eine bessere Auswertung dieser zwei Fragenstellungen hätte man die Untersuchung in zwei voneinander unabhängige Studien aufteilen müssen.

Die Messung der Massenzunahme der Pflanzen in der Hydroponic konnte während der Versuchszeit nicht genau durchgeführt werden. Da die Wurzeln nicht beschädigt werden durften, mussten die Pflanzen inklusive Töpfchen und Blähton gewogen werden. Dies führte zu Ungenauigkeiten, da die Blähtonkügelchen durch den unterschiedlich hohen Wasserstand der zwei Hydroponic-Einheiten nicht gleich stark mit Wasser vollgesogen waren.

5 Reflexion

Im Allgemeinen bin ich sehr an den Naturwissenschaften interessiert. Das selbständige Verfassen einer grösseren, wissenschaftlichen Arbeit bot mir die Möglichkeit festzustellen, ob ich in der Zukunft tatsächlich ein Studium in dieser Richtung absolvieren möchte. Während den Versuchen und dem Verfassen des Berichtes konnte ich feststellen, dass mich die Forschung in diesem Bereich fasziniert.

Während meiner bisherigen Schulkariere wurde mir meistens vorgeschrieben, wann ich was zu erledigen habe. Bei der Umsetzung der Maturaarbeit lag nun die Verantwortung bei mir, damit ich mich an meinen Zeitplan halte. Solange meine Begeisterung für mein Projekt gross war, funktionierte dies sehr gut. Ich musste jedoch auch feststellen, dass nicht immer alles so läuft, wie man sich das vorgestellt hat. So war ich anfangs sehr enttäuscht, als ich realisieren musste, dass die Qualität der Salate nicht meinen Erwartungen entsprach. Dieser Zeitpunkt war das Motivationstief meiner Arbeit. Nach einiger Zeit fand ich mich damit ab und verstand, dass auch Misserfolge wichtig für weitere Versuche sein können.

Durch einen beinahe unwiderruflichen Verlust aller Fotos realisierte ich, dass das Zwischenspeichern der Dateien tatsächlich extrem wichtig ist.

Die gute Wasserqualität, welche im Aquaponic-System erreicht wurde, werte ich als Teilerfolg. Ich bin motiviert, das System im nächsten Frühjahr weiter zu entwickeln und zu verbessern, damit auch der Gemüseanbau erfolgreich wird.

Literaturverzeichnis

- [1] „Wikipedia,“ 7 9 2016. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Nitrobacter>.
- [2] J. N. u. F. W. Hochheimer, „Biological filters,“ 1998.
- [3] AQUAVET, „Beschreibung von Aquaponics,“ 2014.
- [4] G. Hochmuth, „greenhouse vegetable production handbook,“ Florida, 1991.
- [5] „epicgardening,“ [Online]. Available: <http://www.epicgardening.com/deep-water-culture-get-started/>. [Zugriff am 24 2 2017].
- [6] „Wikipedia,“ 8 9 2016. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Weltbev%C3%B6lkerung>.
- [7] „Wikipedia,“ [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Aquakultur#.C3.96kologische_Folgen. [Zugriff am 12 9 2016].
- [8] „ECF Farmsystems,“ [Online]. Available: <http://www.ecf-farmsystems.com/>. [Zugriff am 17 9 2016].
- [9] D. C. S. M. R. McMurtry, „Wiley Online Library,“ 1997. [Online]. Available: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-7345.1997.tb00290.x/abstract;jsessionid=36DB3AA6F9A985508912A39C71B7F729.f02t02>. [Zugriff am 16 9 2016].
- [10] „scinexx,“ Forschungsverbund Berlin, 11 02 2014. [Online]. Available: <http://www.scinexx.de/business-17199-2014-02-11.html>. [Zugriff am 16 9 2016].
- [11] P. D. K. Tockner, „tomatenfisch.igb-berlin,“ IGB, [Online]. Available: <http://www.tomatenfisch.igb-berlin.de/gemuese.html>. [Zugriff am 19 9 2016].
- [12] C. Dziallas, in *Goldfische Verhalten, Pflege, Ernährung*, Bellavista, 2005.
]
- [13] „Fischwissen.ch,“ 8 9 2016. [Online]. Available: <http://www.fischwissen.ch/fischhaltung/rechtliches/tierschutzgesetz.html>.
- [14] N. Mette, „Goldfische.kaltwasseraquaristik.de,“ 8 9 2016. [Online]. Available: <http://goldfische.kaltwasseraquaristik.de/wasserwerte.htm>.
- [15] W. M. a. Z. G. W. Fridolin Tschudi, Interviewee, *FRIDOLIN TSCHUDI, W* (22.03.2016). [Interview]. 22 3 2016.
- [16] „Lebensmittel-Warenkunde,“ [Online]. Available: <http://lebensmittel-warenkunde.de/lebensmittel/gemuese/gemueseprodukte/kopfsalat.html>. [Zugriff am 10 9 2016].
- [17] „Wikipedia,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Redfield-Verh%C3%A4ltnis>. [Zugriff am 10 9 2016].
- [18] „gartenrausch,“ [Online]. Available: <http://www.gartenrausch.com/2010/lexikon-der-folien-und-vliesewas-ist-wofuer-und-wird-wie-verwendet/>. [Zugriff am 10 9 2016].
- [19] „Oase,“ [Online]. Available: https://www.oase-livingwater.com/de_CH/wasser-garten/produkte/prd/aquaactiv-biokick-fresh-500-ml.4255.html. [Zugriff am 10 9 2016].
- [20] R. Bamert, „ZHAW,“ [Online]. Available: <https://www.zhaw.ch/storage/lsfm/dienstleistung/schulen/play-with-water/doc-10.pdf>. [Zugriff am 17 9 2016].
- [21] E. H. S. J. M. W. E. M. L. Richard V. Tyson, „Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: The pH levels,“ Florida.
- [22] S. Bernstein, *Aquaponic Gardening*, Scotland: Saraband, 2013.
]

- [23 R. C. S. D. S. B. a. E. S. T. James E. Rakocy, „Aquaponic Production of Tilapia and Basil,“ USA, 2003.
- [24 E. P. N. J. Chito F. Sace, „Economic Analysis of an Urban Vertical Garden for Hydroponic Production,“ 2015.
- [25 S. L. f. Landwirtschaft, *Hinweise zum Umweltgerechten Anbau-Managementunterlage*, 2004.
- [26 O. Paschen, Aufbau eines Quaponic-Systems und Analyse der wichtigsten Nährstoffe, Saarbrücken, Deutschland: AV Akademikerverlag, 2015.
- [27 D. Wenger, „Produktion von Rosen und Tomaten in einem Polykultursystem mit Fischabwasser,“ Hochschule Waedenswil, 2003.
- [28 „Wikipedia, Schilfrohr,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Schilfrohr>. [Zugriff am 9 9 2016].
- [29 J. A. N. C. N. H. Sujata A. Sirsat, „Article Microbial Profile of Soil-Free versus In-Soil Grown Letuce,“ Houston, 2013.

6 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Matthias Lussi für seine Betreuung meiner Maturarbeit bedanken. Durch seine Anregungen und stetige Präsenz war er mir eine grosse Hilfe. Ein Dank geht auch an Fridolin Tschudi, welcher mir für die Planung der Anlagen wichtige Tipps gegeben hat.

Ich möchte mich auch bei meine Experten von Schweizer Jugend Forscht, Herr Reto Neuweiler, bedanken.

Ein grosser Dank geht an meine Eltern Monika und Hans Bösch. Sie finanzierten das Projekt und stellten die Fläche zur Verfügung. Ausserdem unterstützen sie den Aufbau der Anlagen durch die Beschaffung der benötigten Materialien.

Für die Korrektur der Rechtschreibung bedanke ich mich bei Andrea Bachmann.

7 Anhang

7.1 Rohdaten NFT

Tabelle 1, Diese Rohdaten beschreiben die Massen der verschiedenen Pflanzen im Verlauf der Zeit. Die Abkürzungen in der ersten Spalte stehen für die verschiedenen Pflanzensorten: ER = Eichblattsalat rot, K = Kopfsalat, LB = Lollo Bionda, B = Basilikum, P = Petersilie und Z = Zucchini. Die Pflanzen einer Sorte wurden durch eine Nummerierung voneinander unterschieden.

Zeit (Wochen)	0	2	4	6	8	essbarer Teil (8)	Wurzeln (8)
1 ER	6	28	58	74	100	72	28
2 ER	6	38	58	72	92	74	18
3 ER	6	30	76	86	114	80	34
4 ER	6	26	12	28	46	30	16
5 ER	6	26	50	54	58	34	24
6 ER	6	28	22	30	42	24	18
7 ER	6	36	52	76	86	36	50
8 ER	6	20	20	32	36	16	20
1 K	10	52	120	186	258	184	74
2 K	10	46	76	124	166	108	58
3 K	10	38	110	166	204	136	68
4 K	10	24	56	84	124	74	50
5 K	10	52	130	172	222	154	68
6 K	10	22	60	92	132	64	68
7 K	10	36	96	138	176	114	62
8 K	10	38	10	0	0	0	0
1 LB	20	40	100	142	196	136	60
2 LB	20	32	58	96	144	100	44
3 LB	20	36	100	170	246	160	86
4 LB	20	22	46	88	128	74	54
5 LB	20	38	104	142	200	126	74
6 LB	20	46	150	212	250	150	100
7 LB	20	40	120	204	276	188	88
8 LB	20	32	100	166	238	168	70
1 B	20	30	32	24	20		
2 B	20	16	26	16	20		
1 P	20	4	10	6	4		
2 P	20	4	0	0	0		
1 Z	26	44	80	108	150		

Tabelle 2, Wasserwerte während der Versuchszeit in der NFT

Zeit (Wochen)	0	2	4	6	8	9	10	11
pH-Wert	8.1	7.9	8.2	7.8	7.7	8	8.3	8
NO ₂ - (mg/l)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
NO ₃ - (mg/l)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	25

7.2 Rohdaten DWC

Tabelle 3, Diese Rohdaten beschreiben die Massen der verschiedenen Pflanzen im Verlauf der Zeit. Die Abkürzungen in der ersten Spalte stehen für die verschiedenen Pflanzensorten: ER = Eichblattsalat rot, K = Kopfsalat, LB = Lollo Bionda, B = Basilikum, P = Petersilie und Z = Zucchini. Die Pflanzen einer Sorte wurden durch eine Nummerierung voneinander unterschieden.

Zeit (Wochen)	0	2	4	6	8	essbarer Teil (g)	Wurzeln (g)
1 ER	6	24	60	68	72	52	20
2 ER	6	24	32	50	70	48	22
3 ER	6	24	32	48	72	52	20
4 ER	6	28	32	52	82	82	0
5 ER	6	22	34	54	80	60	20
6 ER	6	32	44	58	86	62	24
7 ER	6	24	38	46	68	44	24
8 ER	6	30	44	84	114	74	40
1 K	10	28	44	92	144	100	44
2 K	10	34	68	146	190	126	64
3 K	10	46	64	124	182	122	60
4 K	10	38	74	118	218	150	68
5 K	10	48	50	106	164	110	54
6 K	10	30	64	148	192	128	64
7 K	10	30	74	98	160	102	58
8 K	10	32	32	94	164	108	56
1 LB	20	42	64	134	230	164	66
2 LB	20	46	68	128	230	158	72
3 LB	20	26	0	0	0	0	0
4 LB	20	26	60	148	194	118	76
5 LB	20	30	44	143	196	130	66
6 LB	20	30	64	150	190	122	68
7 LB	20	28	32	124	198	134	64
8 LB	20	26	36	72	114	76	38
1 B	20	20	0	0	0		
2 B	20	24	12	12	14		
1 P	20	24	10	16	24		
2 P	20	24	14	16	16		
1 Z	26	70	72	86	116		

Tabelle 4, Wasserwerte während der Versuchszeit bei der DWC

Zeit (Wochen)	0	2	4	6	8	9	10	11
pH-Wert	8	7.9	8.1	7.8	7.6	7.9	8.2	8.1
NO ₂ - (mg/l)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
NO ₃ - (mg/l)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	25

7.3 Rohdaten Garten

Tabelle 5, Diese Rohdaten zeigen das Gewicht der Salate nach acht Wochen im Garten. Die Abkürzungen stehen für folgende Salatsorten: ER = Eichblattsalat rot, K = Kopfsalat und LB = Lollo Bionda.

	Nach 8 Wochen	Essbarer Teil	Wurzeln
ER1	224	114	110
ER2	242	232	10
K1	770	740	30
K2	736	698	38
LB1	720	680	40
LB2	612	570	42