



STANDORT SOEST

FACHBEREICH AGRARWIRTSCHAFT

**Planung einer Aquaponik-
Demonstrationsanlage am Fachbereich Agrar-
wirtschaft der FH-SWF Standort Soest**

von den Studierenden des Masterjahrgangs
2014/16

Datum:	09.02.2015
Lehrveranstaltung:	Projektmanagement
Semester:	1. Semester Agrarwirtschaft M. Sc.
Betreuer:	Prof. Dr. Jürgen Braun, Prof. Dr. Wolf Lorleberg, Dipl. Ing. Rolf Morgenstern

Beteiligte Studierende:

Lukas Beukelmann, Steffen Bonnekoh, Jan Böse, Isabell Doludda, Maximiliane Eisenack, Julia Fiene, Jan Niklas Glameyer, Julian Grabbe, Linda Hahn, Jonas Horsthemke, Michael Mertens, Mykhammadali Nurov, Sophie Oehler, Stefanie Richwin, Christoph Schnücker, Johannes Schulze Walgern, Kirsten Simon, Markus Stratmann, Julia Viets, Anna Wernsmann, Timo Zipf

Inhalt

Verzeichnis der Tabellen.....	V
Verzeichnis der Abbildungen.....	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
2 Hydrokultur.....	2
2.1 Hydrokultursysteme.....	2
2.2 Mengen und Qualitäten des Prozesswassers aus der Fischhaltung .	8
2.3 Düngung von Tomaten in Hydro- bzw. Substratkultur	13
2.4 Fazit.....	16
3 Aquakultur	19
3.1 Ungeeignete alternative Fischarten	19
3.2 Geeignete alternative Fischarten.....	21
3.3 Afrikanischer Wels – Haltung und Fütterung	29
3.4 Fazit.....	34
4 Energetische Bewertung	35
4.1 Gewächshaus – Flächen und Rauminhaltberechnung	35
4.2 Wärmebedarfsermittlung für das Gewächshaus.....	38
4.3 Berechnung der Beheizung der Fischtanks	41
4.4 Beheizung des kontinuierlich täglich zu ersetzenden Verlustwassers	42
Annahme „Verregnen“:	42
4.5 Beleuchtungskonzept	43
4.6 Wärmekonzept	49
4.7. Fazit.....	54
5 Vermarktung.....	56
5.1 Aktuelle Marktsituation in Deutschland am Beispiel des Afrikanischen Welses.....	56

5.2 Alleinstellungsmerkmal der Aquaponik-Anlage an der Fachhoch-	
schule Südwestfalen, Standort Soest		58
5.3 Die Welsproduktion an der FH Südwestfalen, Standort Soest.....		59
5.4 Auflagen und Empfehlungen für den Lebendfischtransport		61
5.5 Auflagen für die Schlachtung von Fischen.....		64
5.6 Fischhändler		65
5.7 Fazit.....		68
6 Wirtschaftlichkeitsrechnung.....		69
6.1 Methode.....		69
6.2 Deckungsbeitragsberechnung		70
6.3 Berechnung der Durchschnittskosten und der Leistungs-		
Kostendifferenz.....		76
6.4 Sensitivitätsanalyse		78
6.5 Fazit.....		80
7 Zusammenfassung.....		81
Literaturverzeichnis		83

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Obere Wasserqualitätsgrenzen und Wasserqualitätsbereiche für die Zucht Afrikanischer Welse in Kreislaufanlagen	9
Tabelle 2: Richtwerte für die Düngung im bodenlosen Anbau von Tomaten	13
Tabelle 3: Nährstoffbedarf der Tomate in den verschiedenen Entwicklungsphasen	15
Tabelle 4: Vergleich der Belichtungen.....	48
Tabelle 5: Betriebe mit Erzeugung in Aquakultur und erzeugter Menge in 2013.....	56
Tabelle 6: Betriebe mit Welsproduktion und die erzeugte Menge 2011 - 2013	57
Tabelle 7: Mögliche Produktionsmengen Fisch (kg/Jahr) bei einer Futtermittelverwertung von 2% an der FH SWF, Soest	59
Tabelle 8: Mögliche Produktionsmengen Fisch (kg/Jahr) bei einer Futtermittelverwertung von 3% an der FH SWF, Soest	60
Tabelle 9: Empfehlungen zur max. Besatzdichten in 50 l Kunststoffsäcken von Dottersackbrut am Beispiel Wels in Abhängigkeit von Temperatur und Transportdauer.....	63
Tabelle 10: Parameter zur Berechnung des DB der Fischproduktion	71
Tabelle 11: Berechnung des Deckungsbeitrags der Fischproduktion	73
Tabelle 12: Parameter zur Berechnung des DB in der Gemüseproduktion..	74
Tabelle 13: Berechnung des Deckungsbeitrags der Gemüseproduktion	76
Tabelle 14: Ausgangsparameter zur Berechnung der Durchschnittskosten bei Investition in einer Aquaponik-Anlage	77
Tabelle 15: Berechnung der Durchschnittskosten einer Aquaponikanlage ..	77
Tabelle 16: DB und LKD der Fischproduktion bei sich ändernden Input-Parametern	79
Tabelle 17: DB und LKD der Gemüseproduktion bei sich ändernden Input-Parametern	79

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Nutrient Film Technique	2
Abbildung 2: Water culture	3
Abbildung 3: Wick System	4
Abbildung 4: Ebb and Flow	5
Abbildung 5: Drip System.....	6
Abbildung 6: Aero Hydroponic.....	7
Abbildung 7: Nitratmenge unterschiedlicher Besatzdichten	11
Abbildung 8: Nitratmenge Tag 1, 60, 147 bei unterschiedlicher Besatzdichte	12
Abbildung 9: Nitratmenge bei Besatzdichte 300kg/ 1,5 m ³	12
Abbildung 10: Karausche	21
Abbildung 11: Europäischer Wels	22
Abbildung 12: Gemeiner Karpfen	23
Abbildung 13: Graskarpfen	25
Abbildung 14: Nil-Tilapia	26
Abbildung 15: Silberkarpfen	28
Abbildung 16: Afrikanischer Wels.....	29
Abbildung 17: Pendelfutterautomat.....	31
Abbildung 18: Gewichtsentwicklung der Fische bei unterschiedlichen Fütterungsintensitäten.....	32
Abbildung 19: Schematische Lichterzeugung in einer LED.....	45
Abbildung 20: Installation einer LED-Beleuchtung direkt im Pflanzenbestand	46
Abbildung 21: Beispiel einer KWK-Anlage mit integrierter CO ² -Düngung	50
Abbildung 22: Netzgekoppelte Solarstromanlage	52
Abbildung 23: Transportieren von Jungfischen in Kunststoffsäcken	62

Abkürzungsverzeichnis

Akh	Arbeitskraftstunde
App	Approximativ
c.p.	ceteris paribus
DB	Deckungsbeitrag
DK	Durchschnittskosten
EC	Elektro Konduktivität
g	Gramm
kg	Kilogramm
kWh	Kilowattstunde
LG	Lebendgewicht
LKD	Leistungskostendifferenz
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
NDL	Natriumdampflampen
p.a.	Pro Jahr
SG	Schlachtgewicht

1 Einleitung

Im Rahmen eines Projekts des Masterstudiengangs Agrarwirtschaft an der Fachhochschule Südwestfalen, Standort Soest wurde eine Aquaponik-Demonstrationsanlage geplant. Aquaponik-Anlagen kombinieren Fisch- und Pflanzenzucht. Die Fische werden dabei in Aquakulturen gehalten und die Pflanzen als Hydrokulturen angebaut. Dabei ergänzen sich die beiden Systeme, sodass ein autarker Kreislauf entsteht, bei dem das Prozesswasser der Fische als Dünger für die Hydrokulturen genutzt wird. Dadurch, dass kein zusätzliches Wasser zugeführt werden muss, ist das System nachhaltig (UNI ROSTOCK 2012).

Ziel des Projektes ist die Unterstützung des Aufbaus der Anlage sowie der späteren Produktvermarktung mit Fachinformationen, Planungsrechnungen, Folgeabschätzungen und mit praktischer Mithilfe bei handwerklichen Installationen. Das Vorhaben sollen ferner Ansätze zur späteren Optimierung der Anlage und für die Übertragbarkeit in die praktische Anwendung ermitteln.

Im Zuge der Projektplanung werden hinsichtlich der Hydrokultur-Einheit unterschiedliche bodenlose Pflanzenbausysteme recherchiert und am Beispiel der Tomate die Nutzung des Prozesswassers und der Anbau dieser Hydrokultur näher beschrieben. Im Rahmen der Aquakultur-Einheit werden unterschiedliche Fischarten, die in Kreislaufanlagen eingesetzt werden können und deren Haltung und Fütterung dargestellt. Besonders eignet sich der Afrikanische Wels, der als Grundlage für die weitere Planung verwendet wird. Da sowohl die Fische als auch die Pflanzen gewisse Temperaturen für das Wachstum benötigen, wird der Wärmebedarf berechnet und ein effizientes Konzept für die Strom- und Wärmenutzung ermittelt. Zudem wird die Marktsituation des Afrikanischen Welses sowie eine mögliche Vermarktung anhand unterschiedlicher Abnehmer diskutiert. Abschließend wird die Rentabilität der Anlage berechnet.

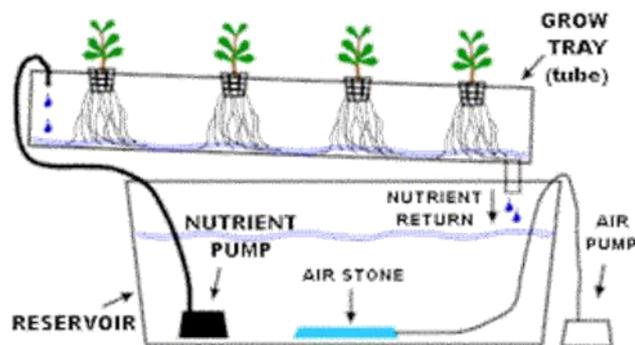
2 Hydrokultur

2.1 Hydrokultursysteme

Bei hydroponischen Systemen handelt es sich um eine Anbaumethode, in der Pflanzen ohne Erde kultiviert und alle Nährstoffe über das Wasser zugeführt werden. Dabei wird zwischen „echten“ hydroponischen Systemen, bei denen der Anbau ohne Substrat erfolgt, und hydroponischen Systemen mit Substrat (z.B. Steinwolle, Perlite, Kokosfasern) unterschieden. Insgesamt gibt es sechs unterschiedliche Grundtypen von Hydrokultursystemen: *Wick*, *Deep Water Culture (DWC)*, *Ebb and Flow (Ebbe & Flut)*, *Drip (Tropf)*, *N.F.T. (Nutrient Film Technique)* und *Aero Hydroponic*. Von diesen Systemen gibt es viele Variationen (BEDNAR U. BROWN 2014).

Nutrient Film Technique (N.F.T)

N.F.T. Systeme (Abb.1) bestehen meistens aus einem Rohr (grow tray / tube), einem Becken (reservoir), einer Unterwasserpumpe (nutrient pump) und einer Pumpe für Luft (air pump).



Quelle: BEDNAR U. BROWN 2014

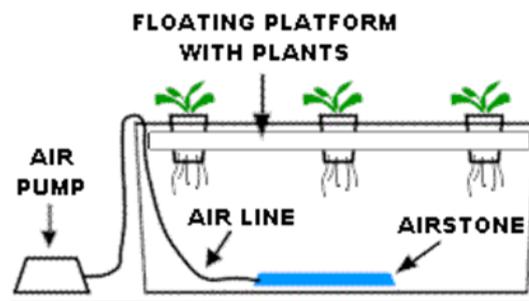
Abbildung 1: Nutrient Film Technique

Das Rohr ist nach oben durchsetzt mit Löchern in denen die „Trays“ mit den Pflanzen gesetzt werden. Meistens sind die Pflanzen in kleinen Kunststoffkörben, so dass die Wurzeln runter hängen. Das Rohr wird so ausgerichtet, dass es ein leichtes Gefälle aufweist. Die Nährlösung fließt durch das Rohr und versorgt die Pflanze mit Nährstoffen die von den Wurzeln aufgenommen

werden. Anschließend wird die Nährlösung wieder in einem Becken gesammelt. Das Wasser wird durch die Luftpumpe mit Sauerstoff angereichert und mit der Unterwasserpumpe zurück zum Anfang des Rohres gepumpt und fließt erneut an den Wurzeln entlang. Die Nährlösung wird ohne eine Zeitschaltuhr kontinuierlich in das Rohr gepumpt. Deswegen sind N.F.T. Systeme anfällig für Strom- und Pumpenausfälle. Wird die Strömung der Nährlösung unterbrochen dauert es nicht lange bis die Wurzeln austrocknen (BEDNAR U. BROWN 2014). Einsatzbereite N.F.T. Systeme kosten pro Stück mit einer Größe von 120 x 60 bis 180 cm zwischen 100 und 280 € (N.N. 2014 a).

Water culture (Wasserkultursystem)

Water culture (Abb. 2) Systeme bestehen aus einem Becken, einer meist schwimmenden Platte in der die Pflanzen eingebettet sind (floating platform), einer Luftpumpe (air pump) mit einer anschließenden Einheit (airstone).



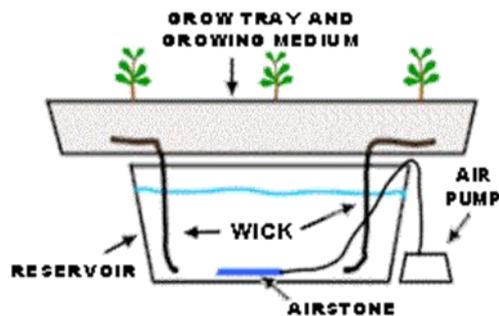
Quelle: BEDNAR U. BROWN 2014

Abbildung 2: Water culture

Im Vergleich funktioniert das waterculture System von den aktiven hydroponischen Systemen am einfachsten. Die Platte mit den Pflanzen ist meistens aus Styropor und schwimmt in dem Becken auf der Nährlösung. Die Luftpumpe sorgt dafür, dass über den airstone die Nährlösung mit Luftblasen versetzt wird, sodass Sauerstoff an die Wurzeln der Pflanzen gelangt. Für große Pflanzen oder überjährige Kulturen ist dieses System nicht geeignet, da diese nicht ausreichend versorgt werden (BEDNAR U. BROWN 2014).

Wick System (Docht-System)

Wick-Systeme bestehen aus einem Becken (reservoir), einer Luftpumpe (air pump) mit einer anschließenden Einheit (airstone) und Einheit in dem die Pflanzen kultiviert werden (growing medium) sowie Dochte (wick).



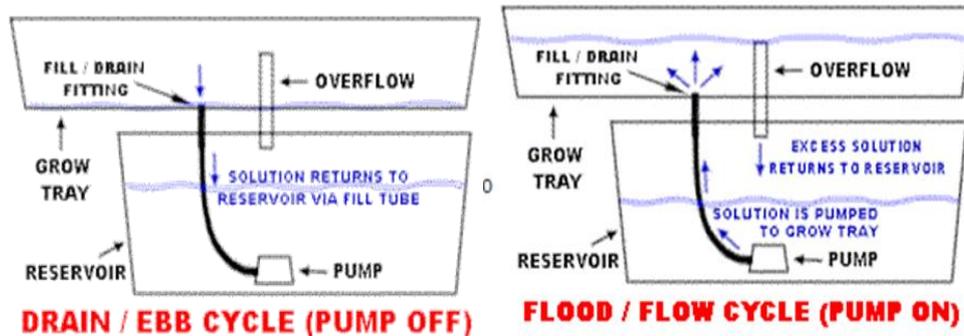
Quelle: BEDNAR U. BROWN 2014

Abbildung 3: Wick System

Dies gehört zu den passiven Hydrokultursystemen, bei denen es keine beweglichen Teile gibt. Die Nährlösung wird über die Dochte aus dem Becken in das Wachstumsmedium gezogen. Perlit, Vermiculit, Pro-Mix und Kokosfaser sind Wachstumsmedien, die häufig verwendet werden. Die Menge an Nährstoffen, die durch die Dochte nachgeliefert werden kann ist jedoch begrenzt. Daher eignet sich dieses System nicht für Pflanzen, die einen hohen Nährstoffbedarf haben und wird daher normalerweise nicht professionell eingesetzt (BEDNAR U. BROWN 2014).

Ebb and Flow (Ebbe und Flut)

Ebb and flow Systeme (Abb. 4) bestehen aus einem Becken (reservoir), dem Pflanzenbereich (grow tray), einer Zeitschaltuhr sowie einer Pumpe und einer Einrichtung die eine Überflutung verhindert (overflow).



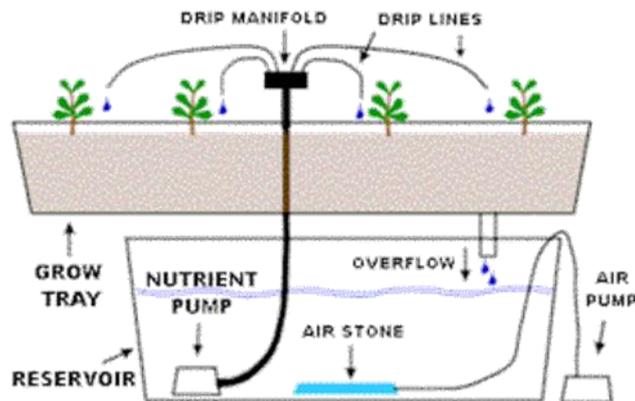
Quelle: BEDNAR U. BROWN 2014

Abbildung 4: Ebb and Flow

In der Regel wird dieses System über eine Zeitschaltuhr gesteuert. Dieser regelt in welchen Abständen der Pflanzenbereich geflutet wird und wann die Nährlösung zurück in das Sammelbecken abfließt. Das System ist sehr vielseitig. Werden Einzeltöpfe bepflanzt ist die Handhabung deutlich leichter. Durch eine Unterbrechung der Bewässerungszyklen können die Wurzeln schnell austrocknen. Um dem vorzubeugen sollten möglichst Wachstumsmedien verwendet werden, die Wasser speichern können wie z.B. Rockwool, Vermiculit und Kokosfaser (BEDNAR U. BROWN 2014). Fertige Ebb and flow Systeme kosten pro Stück mit einer Größe von 65 x 65 cm bis 120 x 110 cm zwischen 100 und 240 € (N.N. 2014 a).

Drip System (Tropfsystem)

Drip Systeme bestehen aus einem Becken (reservoir), dem Pflanzenbereich (grow tray) sowie Pumpen für Nährlösung und Luft, einer Einrichtung die eine Überflutung verhindert (overflow), einer Zeitschaltuhr und Leitungen.



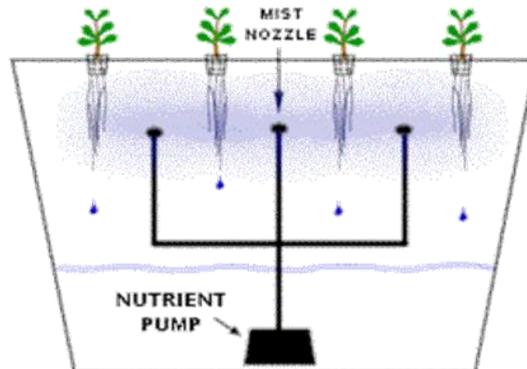
Quelle: BEDNAR U. BROWN 2014

Abbildung 5: Drip System

Drip Systeme sind weltweit am häufigsten verbreitet. Eine Zeitschaltuhr steuert die Pumpe, die über die Leitungen Tropfen der Nährlösung an die Pflanze abgibt. Je nach Art des Systems geht die überflüssige Nährlösung zurück in das Becken mit der Nährlösung und wird wieder verwendet (Recovery) oder wird nicht zurückgeführt (Non-Recovery). Das Non-Recovery System hat den Vorteil, dass die Konzentration der Nährstoffe sowie der pH-Wert im Nährstoffbecken nicht auf Grund von unregelmäßiger Rückführung der verwendeten Nährlösung variieren. Das es in einem Recovery System zu unterschiedlichen Nährstoffkonzentrationen und pH-Werten kommen kann, müssen diese Werte regelmäßig überprüft werden (TEXIER 2014).

Aero Hydroponic

Aero Hydroponic Systeme (Abb. 6) bestehen aus einem Becken (reservoir), dem Pflanzenbereich, einer Zeitschaltuhr, einer Pumpe sowie Zerstäubern. Die Nährlösung wird aus dem Becken zu den Zerstäubern gepumpt (BEDNAR U. BROWN 2014).



Quelle: BEDNAR U. BROWN 2014

Abbildung 6: Aero Hydroponic

Diese befeuchten die in der Luft hängenden Wurzeln mit der Nährlösung. Die Bestäubung muss im Abstand weniger Minuten wiederholt werden, da sonst die Wurzeln schnell austrocknen (BEDNAR U. BROWN 2014).

2.2 Mengen und Qualitäten des Prozesswassers aus der Fischhaltung

Aus einer Reihe an Gründen ist die Fischart Afrikanischer Wels für die Versuchsanlage an der Fachhochschule Soest ausgewählt, da sich die Produktion aufgrund einiger spezieller Eigenschaften als wirtschaftlich erweist.

Aus der Literatur ist zu entnehmen, dass die maximale Besatzdichte des Afrikanischen Wels bei 250kg/m^3 liegt und eine gängige Fütterung (z.B. Bio-meerval Schwimmfutter) aus 920g Trockenmasse pro kg Futter besteht. In dem Futter sind 490 g Rohprotein/kg. Also liegt der Rohproteinanteil in diesem Beispiel bei 53%. Das Rohprotein enthält 16% Stickstoff, was einer Stickstoffmenge von 78,4g/kg Futter entspricht. Mit Hilfe der Zusammensetzung des Futters ist die Grundlage gegeben, um die theoretische Wasserbelastung abzuschätzen. Die aus dem Beispiel resultierende Wasserbelastung am 150 – 151. Tag bei maximaler Futtermenge gliedert sich in 7,4 g/kg Futter als fäkale Verluste (9,4% des enthaltenen N/kg Futter) sowie 40,3 g/kg Futter als nicht fäkale Verluste (51,3% des enthaltenen N/kg Futter) auf. Die fäkalen Verluste stellen den Teil des aufgenommenen Futters dar, der nicht verdaut und als Kot wieder ausgeschieden wird. Die nicht fäkalen Verluste sind der Anteil des verdauten Futters, der als Urin (Mineralien, Harnsäure) oder über die Kiemen als NH_3 sowie CO_2 wieder abgegeben wird. Die gesamte Ammoniumstickstoffproduktion liegt somit bei 43,5 g/kg Futter und stellt die Menge dar, die dann im Gewächshaus durch angebaute Kulturen genutzt werden kann. Diese setzt sich zusammen aus 40,3 g nicht fäkale Verluste und 3,2 g indirekt durch die nicht absetzbaren Fäkalien. Dies ist die entscheidende Stickstoffmenge, um den Entwurf des Biofilters planen zu können. Die restlichen 30,8 g N/kg Futter (39,3%) werden für das Wachstum des Fisches verbraucht. Das daraus resultierende Problem bei rationierter Fütterung im Vergleich zu einer ad libitum Fütterung liegt in der unterschiedlichen Wasserbelastung im Tagesverlauf. Diese fällt umso größer aus, je mehr in einem bestimmtem Zeitabschnitt gefüttert wird, da bei viel Futter auch der Sauerstoffverbrauch und die Ammoniumstickstoffproduktion deutlich ansteigen. Dementsprechend höher fällt dann die Wasserbelastung aus

und umso stärker müsste dann auch der notwendige Wasserdurchfluss/Wasseraustausch sein. Daraus erschließt sich dann auch eine höhere Stickstoffmenge. Je nach Tageszeitpunkt liegen deutliche Schwankungen in der Wasserbelastung (NH₄-Produktion) vor und bei dem beschriebenen System ist sie am höchsten zwischen 4 und 12 Uhr, wo automatisch der Sauerstoffverbrauch am höchsten ist. Diese Schwankungen sind durch die zwölf Stunden Fütterung zu erklären und könnten durch eine 24 Stundenfütterung deutlich gesenkt werden (EDING u. VAN WEERD 1999 S. 436-458).

Tabelle 1: Obere Wasserqualitätsgrenzen und Wasserqualitätsbereiche für die Zucht Afrikanischer Welse in Kreislaufanlagen

Parameter	Grenzen/Bereiche für Wachstum (Climit)	Grenzen/Bereich für Wachstum (Climit)
Temperatur	25-27 °C	< 0,06 g/m ³ NH ₃ -N
O₂	2 g/m ³	< 8,9 g/m ³ NH ₄ -N
CO₂	< 26 g/m ³	< 0,2 g/m ³
pH	6,5 - 8	< 101 g/m ³ NO ₃ -N
Schwebstoffe	< 26 g/m ³	< 103 % Satt. N ₂

Quelle: nach EDING u. VAN WEERD 1999 S. 445

Bei den Berechnungen zum Prozesswasser wird von einem Startgewicht von 20 g der Setzlinge ausgegangen, diese sind mit einem Schlachtgewicht von 1,5 kg angesetzt. Die grundlegenden Werte für die Berechnungen beim Prozesswasser sind von den Angaben nach EDING und VAN WEERD (1999) abgeleitet. Die Futtermittelverwertung wird mit 1:1 und die Fütterungsintensität mit 3% der Körpermasse einkalkuliert. Dem Proteinanteil im Futter wird ein von der Literaturquelle abweichender Wert in Höhe 30% unterstellt, da der Wert bei diesem eingesetzten Futter sehr wahrscheinlich niedriger ausfällt. Der Stickstoff im Protein wird anhand der Literatur bei 16% der Trockenmasse Futter festgelegt. Drei unterschiedliche Szenarien sind berechnet. Eine extensive

Variante mit einer Besatzdichte von 50 kg/m³, eine mäßige mit 200 kg/m³ und eine intensive mit 300kg/m³ sind ausgewählt und mit Hilfe der Kurven soll die anfallende Stickstoffmenge je nach Fütterung und Alter dargestellt werden. Dabei wird mit variablen Parametern gearbeitet, die jederzeit angepasst werden können, wenn die Annahmen für diese Anlage anders aussehen sollten.

Rechnung

Ziel dieser Modellrechnung ist, die Nitratmenge bei unterschiedlichen Besatzdichten an unterschiedlichen Masttagen zu ermitteln und dabei die Anzahl der Masttage bei variablen Futterintensitäten zu berechnen. In der Rechnung sind alle Faktoren (Besatzdichte, Futterintensitäten etc.) als Variablen verwendet, welches ein Variieren im Modell ermöglicht.

Berechnet ist die tägliche Zunahme der Fische bei 3% Futterintensität, als Variable. Daraus resultiert eine Mastdauer, für 1,5 kg Schlachtgewicht, von 147 Tagen. Anschließend wird das Protein (g) pro Fisch für die gesamte Mastdauer ermittelt. Daraus wird der Stickstoff (g) berechnet. Mit einer Verwertungsrate von 0,4% (1 bis 0,4 in der Rechnung), wird der Stickstoff (g) im Wasser berechnet. Mit diesem Verhältnis von Stickstoff zum Nitrat (Molmasse Nitrat/ Molmasse Stickstoff) wird nun das Nitrat (g/ Fisch) im Wasser berechnet. Angenommen wurden 300, 200, 50 kg/m³ Besatzdichte der Fische. Dies wird nun mit dem Faktor 1,5 (Beckengröße 1,5m³) verrechnet. Bedeutet Besatzdichte/ Fischanzahl:

$$450 \text{ kg/ } 1,5\text{m}^3 = 300 \text{ Fische}$$

$$300 \text{ kg/ } 1,5\text{m}^3 = 200 \text{ Fische}$$

$$50 \text{ kg/ } 1,5\text{m}^3 = 50 \text{ Fische}$$

Dies spiegelt unterschiedliche Fischdichten in unterschiedlichen Intensitäten modellhaft wieder. Anschließend wird die Anzahl Fische der unterschiedlichen Fischdichten im Becken mit Nitrat im Wasser multipliziert, daraus resultierte die Summe von Nitrat pro Becken. Weiterhin wurde bei einer Anzahl von drei Becken und einer Besatzdichte von 300 kg/ 1,5m³ des 1., 60. und

147. Masttages angenommen, welches das 1., 2. und 3. Becken darstellt und somit das verfügbare Nitrat aller Becken reflektiert.

Die Abbildung 7 zeigt dabei die errechneten Nitratmengen unter der Annahme von 450kg/ 1,5m³ (300 Fische); 300kg/ 1,5m³ (200 Fische) und 75kg/m³ (50 Fische). Während Abbildung 8 die unterschiedlichen Besatzdichten als Modell der drei vorhandenen Becken darstellt (1., 60. und 147. Tag) bei Angabe der Nitratmenge im Wasser. In Abbildung 9 ist die voraussichtliche Besatzdichte bei Beginn der Anlage (300kg/ 1,5m³) mit den Masttagen 1, 60, und 147 und Nitratmengen abgebildet.

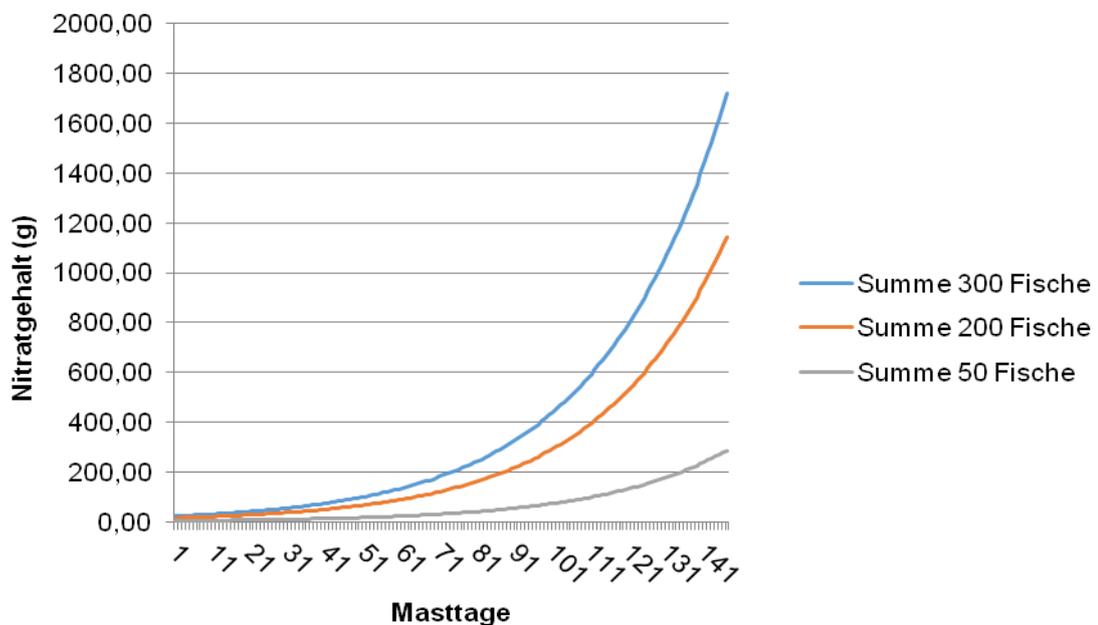


Abbildung 7: Nitratmenge unterschiedlicher Besatzdichten

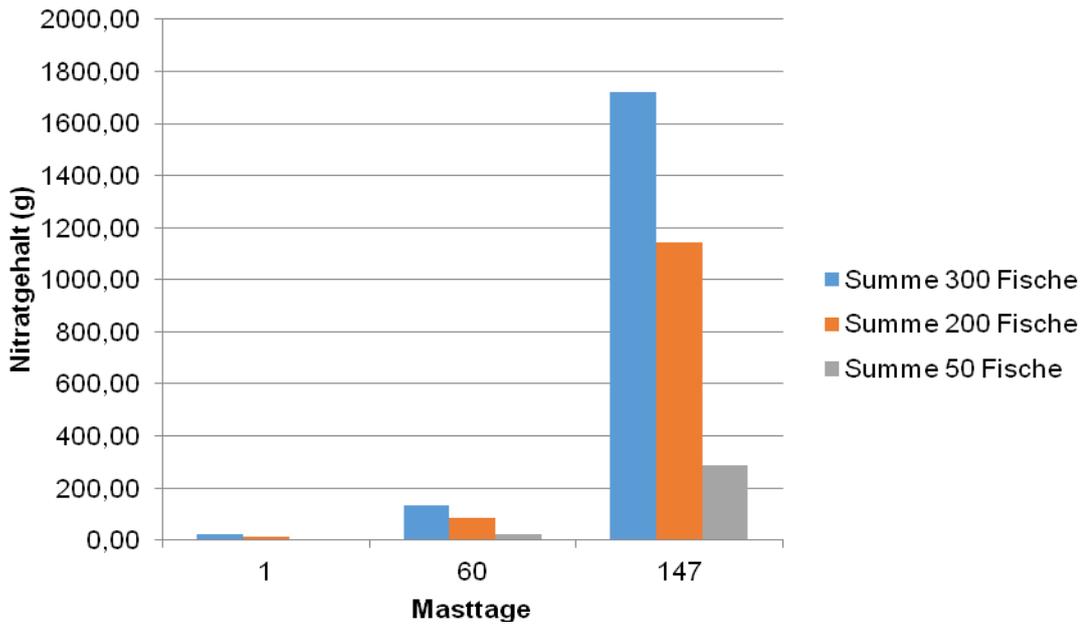


Abbildung 8: Nitratmenge Tag 1, 60, 147 bei unterschiedlicher Besatzdichte

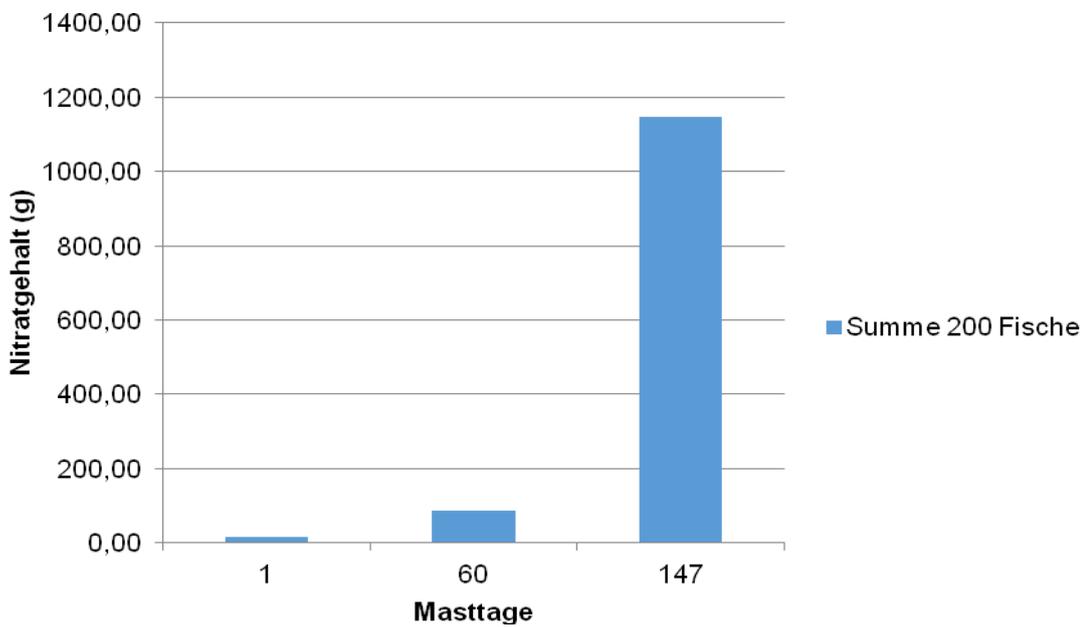


Abbildung 9: Nitratmenge bei Besatzdichte 300kg/ 1,5 m³

2.3 Düngung von Tomaten in Hydro- bzw. Substratkultur

Die Düngung von Tomaten in Substratkulturen erfolgt in der Regel nach Werten, die in mmol/l angegeben sind. Um sie etwas verständlicher darzustellen, sind die Richtwerte zusätzlich in g/l umgerechnet. Hierbei ergeben sich besonders bei den Spurenelementen sehr niedrige Düngekonzentrationen. In der nachfolgenden Tabelle ist ein Überblick über den Bedarf an Anionen, Kationen und Spurenelementen von Tomaten dargestellt.

EC Wert (Elektro Konduktivität=Salzgehalt des Gießwassers) im Gießwasser: 2,5 bis 3,5 EC

EC Wert in der Matte 3 bis 5 EC

pH Wert im Gießwasser und in der Matte 5,5 bis 6

Tabelle 2: Richtwerte für die Düngung im bodenlosen Anbau von Tomaten

			Richtwert bei 3,7 EC	Richtwert in g/l (gerundet)	Grenzen	
					von	bis
Anionen milimol je Liter	NO₃	Nitrat	23	1,426	13	25
	Cl	Chlorid			1	6
	S	Schwefel	4	0,128	3,5	6,5
	HCO₃	Bicarbonat	0,5	0,0305	0,1	1
	P	Phosphor	1,3	0,03	0,5	1,5
	NH₄	Ammonium	< 0,2	0,00361	0,1	0,5
Kationen milimol je Liter	K	Kalium	8	0,312	5	10
	Na	Natrium			1	6
	Ca	Calcium	8	0,3206	5	10
	Mg	Magnesium	4	0,09724	2,5	5
	Si	Silizium				
Spurenelemente micromol je Liter	Fe	Eisen	25	0,001396	9	30
	Mn	Mangan	7	0,000384	3	10
	Zn	Zink	7	0,0004576	5	10
	B	Bor	75	0,00531	35	80
	Cu	Kupfer	1	0,000064	0,5	1,5
	Mo	Molybdän	0,5	0,000048		

Grundsätzlich wird der **Anbau** von Tomaten als Substratkulturen folgendermaßen durchgeführt:

- Ansetzen der Setzlinge im Dezember/Januar
- Veredlung der Setzlinge:
 - Köpfen nach dem 3. Blatt → 1 Samen = 2 Triebe (Saatgutkosten sparen)
 - Evtl. erneutes Köpfen nach dem 6. Blatt möglich
- Es werden kontinuierlich Triebe geerntet, welche Tomaten tragen
- Pro Jahr etwa 30 Ernten
- Ernte pro Strauch: 600 g Tomaten
 - $600 \text{ g} \times 2,5 \text{ Pfl./m}^2 \times 30 \text{ Ernten} = 45 \text{ kg Tomaten /m}^2$
 - Für 20m² Gewächshaus 900 kg Tomatenernte/ Jahresernte

Folgende Punkte sind bei der **Düngung** von Tomaten in Substratkulturen zu beachten:

- Generell müssen für die Nährstoffe eine A- und B-Lösung hergestellt werden.
 - Beide Lösungen dürfen nicht zeitgleich in das Wasser gegeben werden, da es sonst zu Gipsbildung bzw. Ausfällung kommt (hoher Calcium-Gehalt)
- Eine Düngergabe erfolgt i. d. R. nach Einstrahlungswerten (LUX)
 - 20 bis 30 Starts bei hoher Sonneneinstrahlung im Sommer, z. B. 100 cm³/Pflanze bei ca. 20 kg
 - 2 bis 3 Starts bei Dunkelheit (Februar/März)
- In der Startphase benötigen Tomaten alle 8 h 50 cm³/Pflanze
- Ansonsten 3 bis 5 l/Pflanze im Hauptwachstum
- Für den Geschmack ist ein hoher Salzgehalt nötig
 - Tragen die Tomatensträucher keiner Früchte, ist weniger Kalium zu düngen
- Ammonium wird nur zum Stabilisieren des pH-Wertes in der Matte gegeben

- Kalium und Calcium sollen in einem Verhältnis von 1:1 in der Matte oder im Dränwasser vorliegen
 - Wenn mit einem geschlossenen System kultiviert wird, werden für die Nährlösung 8 mmol K und 4 bis 5 mmol Ca empfohlen
 - Die Schwefelgehalte können in der Nährlösung auf 2 mmol gesenkt werden.
- In Tomatenkulturen werden Anpassungen an den Entwicklungsstand der Kultur vorgenommen (s. nachfolgende Tabelle):

Tabelle 3: Nährstoffbedarf der Tomate in den verschiedenen Entwicklungsphasen

Nährstoff	Startphase			Hohe Ertragsphase		
	red.	gleich	zusätzl.	red.	gleich	zusätzl.
NO₃		-			-	
K	-1,5					+1
Ca			+1	- 0,5		
Bor			+20			
Fe						+10

Kosten der Düngung:

1300 l Wasser pro m²/Jahr werden benötigt (davon 300 l wiederverwertbar als Prozesswasser)

das entspricht 1,3 m³ Wasser/m²

1 m³ Wasser = 0,30 € - 1,00 €

für die Nährlösung werden folgende Werte angenommen:

Preis Dünger je m³ Wasser = 1,00 € - 1,20 €

Umgerechnet auf 2,5 Pflanzen pro m² ergeben sich Düngungskosten von ca. 1,70 € bis 2,90 € pro m²/Jahr.

Für eine exakte Düngebedarfsrechnung kann ein Programm genutzt werden, welches im Folgenden verlinkt ist:

- http://www.haifa-group.com/Dutch/knowledge_center/expert_softwares/

2.4 Fazit

Systeme

Es gibt unterschiedliche Hydrokultursysteme, die nach verschiedenen Kriterien betriebsindividuell ausgewählt werden müssen. Welche Kultur/en sollen angebaut werden, welche finanziellen Mittel stehen zur Verfügung und welche Arbeitszeit kann/soll eingebracht werden? Für die Kombination eines Systems mit einer Aquakultur eignen sich vor allem N.F.T. oder Ebb and flow auf Grund der einfachen Struktur und einem abgetrennten Bereich für die Nährlösung.

Prozesswasser

Mit Hilfe der Futterzusammensetzung ist die Grundlage gegeben, um die theoretische Wasserbelastung und die für die Hydrokultur zur Verfügung stehenden Nährstoffe abzuschätzen. Die anfallenden Nährstoffmengen sind aber variabel und abhängig von der Futterzusammensetzung (Höhe des XP-Gehaltes), der Fütterungsintensität, den Besatzdichten (kg/m^3) und der Verteilung der Fütterungsintervalle über den Tag. Durch eine 24 Stunden-Fütterung sind Schwankungen in der Wasserbelastung zu senken und damit wird ein gleichmäßigerer Wasserdurchfluss/Wasseraustausch ermöglicht. Die gesamte Ammoniumstickstoffproduktion setzt sich zusammen aus 51,3 % des enthaltenen N/kg Futter als nicht fäkale Verluste und 9,4 % des enthaltenen N/kg Futter als fäkale Verluste. Die restlichen 39,3 % des enthaltenen N/kg Futter werden für das Wachstum der Fische verbraucht. Ziel der Modellrechnung ist es, die Nitratmenge (g) im Wasser bei unterschiedlichen Besatzdichten der Fische möglichst exakt zu errechnen, um anfallende Stickstoffmenge abschätzen zu können. Dafür wurden unterschiedliche Faktoren einbezogen und als Variablen in einer Tabelle verwendet. Bei einer Futterintensität von 3 % ergibt dies eine Mastdauer von 147 Tagen. Dabei bildet insbesondere eine intensive Besatzdichte ($450 \text{ kg}/1,5\text{m}^3$) sehr hohe Nitratmenge. Während eine geringe Besatzdichte ($75 \text{ kg}/1,5\text{m}^3$) nicht annähernd diese Menge hervor bringt. Die hat zur Folge, dass die Nitratmengen sehr variieren.

Nährstoffversorgung

Die Düngung in Hydrokulturen orientiert sich an Richtwerten für bestimmte Salzgehalte im Wasser. Diese Salzgehalte sind durch den EC-Wert (Elektronische Konduktivität) beschrieben. Ein EC-Wert von 3,7 ist im Durchschnitt ein repräsentativer Richtwert. Dafür entsprechend werden die Nährstoffe berechnet. Die Nährstoffzugabe erfolgt in zwei Schritten, A und B Lösung. Damit wird ein Verklumpen (Vergipsung) der Nährlösung verhindert. Entsprechend der Pflanzenentwicklung wird die Nährstoffmenge angepasst. Im Durchschnitt liegt die Nährstofflösungsmenge bei 3-5 l je Pflanze im Hauptwachstum.

Schlussfolgerung:

I) Pflanzen

Nitratbedarf: 1,426 g/l NO₃

Pflanzenmenge: 5 l/Pflanze

Anzahl Pflanzen: 2,5 Pflanzen/m²

Gesamtfläche: 20 m²

Rechnung (1): 1,426 g/l NO₃ * 5 l/Pflanze * 2,5 Pflanzen/m² * 20 m²
= 356,5 g NO₃/Jahr u. Gesamtfläche

II) Prozesswasser

Annahme: 75 kg/ Becken

Nitratmenge: 312,14 g aus drei Becken

Masttage: 147

Durchgänge: 365 : 147 = 2,5

Rechnung (2): 2,5 Durchgänge * 312,14 g NO₃/Jahr u. Gesamtfl.
= 780,35 g NO₃/Jahr

Rechnung (3): 780,35 g NO₃/Jahr : 356,5 g NO₃/Jahr u. Gesamtfl.
= 2,19

→ Bei einer Besatzdichte von 75 kg/ Becken steht zurzeit 2,19-mal so viel Nitrat zur Verfügung wie die Tomaten benötigen.

III) Empfehlung:

Rechnung (4): 75 kg/ Becken : 2,19 = 34,25 ~ 34 kg/ Besatzdichte

→ Für die benötigte Nitratmenge der Pflanzen bei einer Gesamtfläche von 20 m² ist eine Besatzdichte der Fische von **34 kg** als empfehlenswert anzusehen.

3 Aquakultur

In der Soester Aquaponik-Anlage ist es geplant mit dem Afrikanischen Wels in der Aquakultur zu beginnen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Fischart auch langfristig gemästet wird. Die Anlage wird als Demonstrationsanlage betrieben, sodass auch in der Zukunft andere Fischarten gehalten werden sollen um wissenschaftliche Erkenntnisse zu erlangen. Im folgenden Abschnitt werden alternative Fischarten vorgestellt, sowie ihre Vor- und Nachteile dargelegt. Anschließend wird der Afrikanische Wels hinsichtlich der Haltung und Fütterung genauer betrachtet.

3.1 Ungeeignete alternative Fischarten

Catlabarbe (Catla Catla)

Die Catlabarbe ist ein Süßwasserfisch der Wassertemperaturen von 25 bis 32 Grad Celsius bevorzugt. Diese beiden Fakten sprechen für die Haltung in der geplanten Aquaponik-Anlage. Dennoch ist der Fisch eher ungeeignet, da der Absatz in Deutschland eher schwierig ist. Zudem wird der Fisch vor allem in Teichen gehalten und regional vermarktet. Des Weiteren ist die Eignung und Verbreitung als Speisefisch nur bedingt gegeben. Die Haltung in einem Teich ist für die Vermarktung ein gutes Argument, welches die Eignung für die Aquaponik weiter senkt. Hinzu ist diese keine heimische Fischart. Den Ursprung hat dieser Fisch im Indischen Raum (FISCHLEXIKON 2014 a; FISH-BASE 2014 a).

Flussbarsch (Perca fluviatilis)

Der Flussbarsch ist wie auch die Catlabarbe ein Süßwasserfisch. Als ausgewachsener Fisch weist er eine Größe von 15-30 cm auf. Die hohe Anpassungsfähigkeit an den Lebensraum ist ein Vorteil dieses Fisches. Da er ein Raubfisch ist, wird die Eignung für eine Haltung in der Aquaponik-Anlage als gering eingestuft. Des Weiteren ist der Fisch nicht ausreichend erforscht und getestet, sodass nicht bekannt ist, welche Leistung dieser Fisch erbringen kann. Das Fleisch ist sehr mager und grätenarm (FISCHLEXIKON 2014 b).

In der Jugendentwicklung ernährt der Flussbarsch sich von Plankton. Ab einem gewissen Alter nimmt er zunehmend Fischbrut und junge Kleinfische als Nahrung zu sich. Dadurch ist er eher ungeeignet als Fischart in der Aquaponik (FISHBASE 2014 b).

Karassche (*Carassius carassius*)

Die Karassche (Abb. 10) gehört zu den Fischarten die vom Aussterben bedroht sind und auf der roten Liste stehen. Dieser Fisch ist ein Bodenfisch, der in stehenden oder langsam fließenden Gewässern vorkommt. In der Regel sind das wenig ertragreiche Gewässer. Die Karassche ist sehr anpassungsfähig an extreme Bedingungen und kann auch eine bestimmte Zeit ohne Sauerstoff auskommen. Die Wassertemperatur ist für diesen Fisch in dem Bereich zwischen 20-24 °C optimal. Dieser Fisch ist ein Kleintier- und Pflanzenfresser und ernährt sich von Würmer, Muscheln, Insekten, Flöhe und Plankton. Das Fleisch ist sehr wohlschmeckend und weich, jedoch ist der Grätenanteil sehr hoch (FISCHLEXIKON 2014 e).

Gesamt betrachtet ist die Karassche für die Haltung in Aquaponik-Anlagen nicht optimal geeignet. Aufgrund des geringen Vorkommens ist ein Bezug von Jungtieren äußerst schwierig. Zudem ist vom Verbraucher ein Fisch mit einem niedrigen Grätenanteil gewünscht. Dies ist auch ein Grund dafür, dass es wenige Vermarktungsmöglichkeiten für den Fisch gibt. Des Weiteren gibt es bisher keine Erfahrungen zu der Karasschenhaltung in Kreislaufanlagen.



Quelle: FISCHARTENATLAS 2014

Abbildung 10: Karausche

3.2 Geeignete alternative Fischarten

Europäischer Wels (*silurus glanis*)

Der Europäische Wels (Abb.11) gehört zur Familie der „Echten Welse“ (*Siluridae*), welche mit zwei Arten in Europa vorkommt. Diese Art ist auch unter dem Namen Flusswels oder Waller bekannt. In Europa ist er der größte reine Süßwasserfisch, der ein ruhiges bis langsam fließendes, tiefes Gewässer mit schlammigen Untergrund und Vertiefungen und Totholz bevorzugt. Zwischen dem Afrikanischen und Europäischen Wels besteht in der Wachstumsleistung kein gravierender Unterschied. Der Europäische Wels stellt jedoch höhere Ansprüche an die Sauerstoffversorgung, da er allein auf die Kiemenatmung angewiesen ist und nicht wie der Afrikanische Wels Luftsauerstoff verwerten kann. Der Europäische Wels kann in Besatzdichten von über 100 kg Fischmasse/m³ gehalten werden. Er bevorzugt Wassertemperaturen von 14-20°C (BOHL 1999).



Quelle: FISCH-ARTEN 2014

Abbildung 11: Europäischer Wels

Der Europäische Wels ist ein Allesfresser und stellt an seine Ernährung ähnliche Anforderungen wie der Afrikanische Wels. Das Fleisch des Welses ist hell und grätenlos. Es ist jedoch recht fettig und eignet sich daher auch gut zum Räuchern (ALPERS 2014).

Gemeiner Karpfen (*Cyprinus carpio*)

Der Karpfen (Abb. 12) ist ein Süßwasserfisch, der stehende bis mäßig fließende Gewässer als Lebensraum bevorzugt. Als Nahrung nimmt der Karpfen vor allem Plankton, Pflanzen, Kleintiere und Bodenorganismen auf.

Der Gemeine Karpfen ist der Oberbegriff für einige Karpfenarten. So gibt es den Schuppenkarpfen, Spiegelkarpfen, Nackt- oder Lederkarpfen, Zeilkarpfen oder den Graskarpfen. Diese unterscheiden sich in ihrer Lebensweise, der bevorzugten Nahrung und der Größe/Form. In Deutschland wird der Karpfen vor allem in Teichen in Bayern und Thüringen gehalten und gemästet. Die Vermarktung ist vorwiegend regional und stark saisonal. Der Ge-

schmack des Karpfens wird sehr stark von der Haltung und der Fütterung beeinflusst (FISHBASE 2014 c).

Mit einer Größe von 35-50 cm wiegt der Karpfen bereits 2-3 kg. Die Eignung für die Aquaponik ist nur mäßig gegeben, da der Fisch eher kältere Wassertemperaturen bevorzugt. Die Leistungen und die Nährstoffausscheidungen sind nicht ausreichend bekannt, sodass der Wels als Fischart für die Aquaponik zu bevorzugen ist (FISCHLEXIKON 2014 c).



Quelle: WILDLIFE 2014

Abbildung 12: Gemeiner Karpfen

Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idella*)

Der Graskarpfen oder auch Grasfisch (Ostasiatischer Pflanzenfresser) gehört zur Familie der Karpfenfische und stammt ursprünglich aus China und lebt in ruhigen, tiefen Flüssen und Seen. Für die optimale Lebensweise benötigen die Graskarpfen eine Wassertemperatur von 22-26°C. Dieser Fisch laicht genau wie der Silberkarpfen in strömendem Gewässer, bei einer Wassertemperatur von 27-29°C. Zur Nahrung werden Wasserpflanzen (bevorzugt junge Pflanzen) gefressen. Aus diesem Grund wurden Graskarpfen in zum Beispiel Kanälen ausgesetzt, um das Zuwachsen zu verhindern. Es handelt sich hierbei um einen Süßwasserfisch (FISCHLEXIKON 2014 f).

Insgesamt werden weltweit jährlich 3,6 Mio. Tonnen produziert. Die Fleischqualität ist sehr gut und eignet sich als Speisefisch. Ein ausgewachsener Graskarpfen kann bis zu 1,20 m lang und 35 kg schwer werden. In Aquakulturen wird der Fisch in hohen Bestandesdichten gehalten. Problem in der Haltung in einer Aquakultur ist, dass Graskarpfen sehr krankheitsanfällig sind. Mangelnde Hygiene, schlechtes Futter, etc. sind Gründe für einen Krankheitsausbruch. Medikamente werden häufig eingesetzt, was zusätzliche Kosten bedeutet und negativ für den Verzehr ist (KLINKHARDT 2011).

Der Graskarpfen eignet sich wie der Silberkarpfen für eine Aquaponik-Anlage. Er lebt von pflanzlichem Futter und ein weiterer Vorteil ist das Schwarmverhalten, welches eine hohe Produktion auf geringer Fläche ermöglicht.



Quelle: FISCHLEXIKON 2014

Abbildung 13: Graskarpfen

Nil-Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Der Nil-Tilapia (Abb. 14) gehört zur Familie der Buntbarsche (Cichlidae). Er stammt ursprünglich aus Ägypten (Namensgebung), wo er als geschätzter und wichtiger Speisefisch angesehen wird. Nil-Tilapien sind Maulbrüter, d.h. das Weibchen nimmt nach der Balz die Eier in das Maul und brütet sie etwa drei Wochen lang aus. Die Jungfische zeigen ein ausgeprägtes Schwarmverhalten und suchen die Nähe ihrer Geschwister, um sich so vor Raubtieren zu schützen. Männliche Tilapien werden bis zu 50 cm groß. Weibchen bleiben hingegen deutlich kleiner und erreichen oftmals nur eine Größe von maximal 25 cm. Das maximale Gewicht (der Männchen) liegt bei ca. 8 kg (TILAPIA 2014).

Nil-Tilapien sind Süßwasserfische und bevorzugen warme Wassertemperaturen. Temperaturen unterhalb von 15°C vertragen sie sehr schlecht. Ihr Temperaturoptimum liegt zwischen 20 und 30°C. Sie gelten allgemein als robuste Fische und sind wenig anfällig für Krankheiten (TILAPIA 2014).

Durch ihr großes Maul haben diese Fische die Fähigkeit, große Mengen Futter aufzunehmen und schnell zu wachsen. Sie sind gute Futterverwerter und wandeln bis zu 80 % des Futters in Körpermasse um (Futterquotient von

0,83). Mit Ausnahme einer kurzen Phase als Jungfisch können sie auch rein vegetarisch ernährt werden. Pflanzen, Algen, Flocken- und Lebendfutter sowie Pellets werden von den Fischen gut angenommen. Das Futter sollte generell eine Zusammensetzung von 30-45 % Protein und weniger als 10 % Fett aufweisen (FISCHLEXIKON 2014 d).



Quelle: WIKIPEDIA 2014

Abbildung 14: Nil-Tilapia

Weltweit gesehen sind Tilapien, zu denen neben dem Nil-Tilapia auch der Marienbuntbarsch zählt, die am meisten verwendeten Fische in Aquaponik-Anlagen. Ihr schnelles Wachstum (in 6- 9 Monaten bis zur Schlachtreife) und die Möglichkeit sie in hohen Besatzdichten (80 kg pro m³) zu halten, bilden gute Voraussetzungen für die Haltung der Fische in geschlossenen Kreislaufanlagen. Sie besitzen eine gute Fleischqualität, sind im Hinblick auf Futter relativ anspruchslos, was eine rein vegetarische Ernährung und damit einen Verzicht auf problematische Futtermittel aus Fischmehl oder -öl ermöglicht. Tilapien sind schwankenden Wasserqualitäten gegenüber relativ tolerant und sie vertragen hohe Temperaturen sehr gut bei recht geringem Sauerstoffbedarf. Darüber hinaus werden Tilapien bereits mit einem halben Jahr geschlechtsreif und sind danach sehr fortpflanzungsfreudig - sie laichen mehrfach im Jahr. Durch diese zahlreichen Vorteile sind Tilapien in den letz-

ten Jahrzehnten zu einem beliebten Zuchtfisch geworden (FISCHLEXIKON 2014 d).

Nachteilig ist, dass die Setzlinge recht teuer sind und der Marktwert der Fische im Vergleich zu anderen kommerziell gehandelten Fischarten geringer ist (TILAPIA 2014).

Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*)

Der Silberkarpfen gehört zur Familie der Karpfenfische und stammt ursprünglich aus Flüssen und den damit verbundenen Gewässern Ostasiens und Zentralchinas. In den 1960er Jahren wurde er zusammen mit den Gras- und Marmorkarpfen in Mitteleuropa ausgesetzt und begann sich zu verbreiten. Ca. 10 Jahre später wurde der Fisch in nordamerikanischen Farmen ausgesetzt und gelang aus unbekanntem Grund in den Mississippi. Silberkarpfen laichen von Mai bis Juli bei einer Wassertemperatur von 23-24°C in strömendem Gewässer (bis zu 500.000 Eier sind möglich, nach 40 Stunden Schlupf). Ein ausgewachsener Karpfen kann bis zu 1 m lang und 20 kg schwer werden, was allerdings kein Ziel von Züchtern ist. Es handelt sich hierbei um einen Süßwasserfisch (FISCHBASE 2014 d).

Der Fisch hat eine sehr positive Auswirkung auf die Wasserqualität, denn sie können durch die Kiemen Partikel von weniger als 0,01mm aus dem Wasser filtrieren. Das Wasser ist sehr sauber, nachteilig ist jedoch, dass dies wenig Nahrung für Jungfische bedeutet. Der Silberkarpfen frisst vor allem Algen, was ihn zum Planktonfiltrierer macht (KLINKHARDT 2011).

Weltweit hat der Silberkarpfen eine große Bedeutung mit einer jährlichen Gesamtproduktion von 3,7 Mio. Tonnen und zählt damit zur wichtigsten Aquakulturart. Er wird in einer hohen Bestandesdichte gehalten, denn diese Karpfenart gehört zu den Schwarmfischen. Diese Fische ernähren sich fast ausschließlich von Algen (KLINKHARDT 2011).

Dieser Fisch würde sich für eine Aquaponik-Anlage eignen. Er bringt die Voraussetzungen, die ein Fisch für eine solche Anlage braucht. Bekannt ist auch, dass der Fisch schon sehr viel in Aquakulturen gehalten wird. Die Fische laichen nur in strömenden Gewässern, kann hier aber vernachlässigt werden, da die Tiere gemästet werden und keine Remontierung vorgenommen wird. Positiv ist ihre Ernährung. Die Silberkarpfen können ausschließlich von Pflanzen leben, was eine nachhaltige Fischzucht fördert.



Quelle: FISCHLEXIKON 2014

Abbildung 15: Silberkarpfen

3.3 Afrikanischer Wels – Haltung und Fütterung

Haltung

Der Afrikanische Wels ist ein robuster Fisch mit geringen Ansprüchen an Haltung und Wasserqualität. Bestimmte Grenzwerte müssen dennoch eingehalten werden. Zunächst sind Wassertemperaturen von 27 bis 28 °C anzustreben und die Wasserhärte sollte im Bereich von 5 bis 28 dgH liegen. Der Ammoniakgehalt muss sich unterhalb von 3 mg/l befinden und Stickstoffdioxid darf nur zu 1 mg/l im Wasser enthalten sein (N.N 2014 b).

Das Wasser sollte einen pH- Wert von 6,5 bis 8,0 aufweisen und die Salztoleranz des Fisches liegt bei 9,5 ppt. Darüber hinaus haben die meisten Welsarten einen Sauerstoffbedarf von 3 mg/l Wasser. Der Afrikanische Wels ist in der Lage Luftsauerstoff für sich zu nutzen. Daher sollte die Raumtemperatur ungefähr der Wassertemperatur entsprechen (N.N 2014 b; PROPLANTA 2014).



Quelle: FISCHGUT-VERTRIEB 2014

Abbildung 16: Afrikanischer Wels

Beim Afrikanischen Wels handelt es sich um einen Süßwasserfisch, der Besatzdichten von bis zu 350 kg/m^3 benötigt, um in das sogenannte Schwarmverhalten überzugehen. Wenn sich der Afrikanische Wels im Schwarmverhalten befindet, kommt es selten zu Positionskämpfen und damit weniger oft zu Stresssituationen. Dadurch kann eine gute Futterausnutzung erreicht werden. Des Weiteren ist es empfehlenswert, das Becken zu bepflanzen und es muss berücksichtigt werden, dass der Afrikanische Wels im Dunkeln lebt (ASENDORPF 2014).

Beim Einsetzen des Fisches in das Becken ist dieser etwa fingergroß. Nach etwa 150 Tagen erreicht er mit einer Größe von 50 bis 60 cm und einem Gewicht von ca. 1,5 kg die Schlachtreife (BAUER 2014).

An der FH Südwestfalen am Standort Soest soll sich beim Bau der Aquaponik-Anlage an der Uni Rostock orientiert werden. Beispielsweise betreibt die Uni Rostock ihre Anlage mit einer Besatzdichte von nur 20 kg/m^3 . Hier sind keine Probleme wie z.B. das Ausleben des Raubfischverhaltens (Kannibalismus) bekannt. Auch in Soest soll mit einer geringeren Besatzdichte begonnen werden. In Zusammenarbeit mit PAL Anlagenbau sind in Soest drei Becken à 1 m^3 Wasservolumen in einem 15 m^2 großen Raum geplant. Um die hohe Besatzdichte einhalten zu können, kann entweder weniger Wasser für die entsprechende Fischzahl in die Becken eingefüllt oder eine Art Käfig ins Becken eingehängt werden, um das Schwarmverhalten einzuleiten. Mit dem Käfig wären die Fische bei gleichbleibendem Wasservolumen enger beieinander und eine höhere Besatzdichte wird simuliert.

Fütterung

Der Einsatz von hochwertigen Fischfuttermitteln ist notwendig, um ein rasches Wachstum der Tiere zu gewährleisten. Ebenfalls hat die Qualität des Futters einen Einfluss auf die Fischgesundheit und die Fleischqualität. Der Afrikanische Wels wird ausschließlich mit extrudiertem Welsfutter gefüttert. Durch die Behandlung des Futters unter hohem Druck und hoher Temperatur

ist das Futter für die Tiere besser verdaulich und eine höhere Futtermittelnutzung wird erzielt. Das Futter setzt sich aus folgenden analytischen Bestandteilen zusammen:

- 920 g Trockenmasse
- 490 g Rohprotein
- 12% Fett

Bei dem Welsfutter ist es wichtig, dass es im Gegensatz zu anderem Fischfutter weicher gepresst ist (BOHL 1999).

Die Fütterung der Fische in den Produktionsbecken erfolgt mit Pendelfutterautomaten (Abb. 17), in die die Tagesration jeweils gemäß der aktuellen Anzahl an Fische gefüllt wird. Die Fische können durch die Betätigung des Pendels Futter aus dem Automaten dosieren. Die ausdosierte Menge je Pendelberührung ist je nach Futteraufnahmevermögen der Fische einzustellen. Bei dieser Form der Verabreichung des Futters werden direkte Futterverluste weitestgehend vermieden (BOHL 1999).



Quelle: TEICHCENTER 2014

Abbildung 17: Pendelfutterautomat

Das Futter kann lose, in Big Packs oder gesackt bezogen werden. Da das Futter trocken und frostfrei gelagert werden soll, ist für das Projekt in Soest ein zusätzlicher Container geplant, der an das Gewächshaus gestellt werden soll, in dem das Futter gelagert werden kann (HOCHLEITHNER 2006).

Gefüttert werden die Fische nach Angaben des Anlagenherstellers mit 2 % oder 3 % des Körpergewichts. Da die Jungtiere mit 20 g Körpergewicht geliefert werden und von einer Futterverwertung von 1:1 auszugehen ist, benötigt der Fisch bis er das Schlachtgewicht von 1,5 kg erreicht hat bei der 3 %-igen Fütterung 147 Masttage. Wird täglich nur 2 % des Körpergewichts gefüttert verlängert sich die Mastdauer auf 220 Tage. Die folgende Abbildung 18 verdeutlicht die unterschiedlichen Gewichtsentwicklungen bei den unterschiedlichen Fütterungsintensitäten (BOHL 1999).

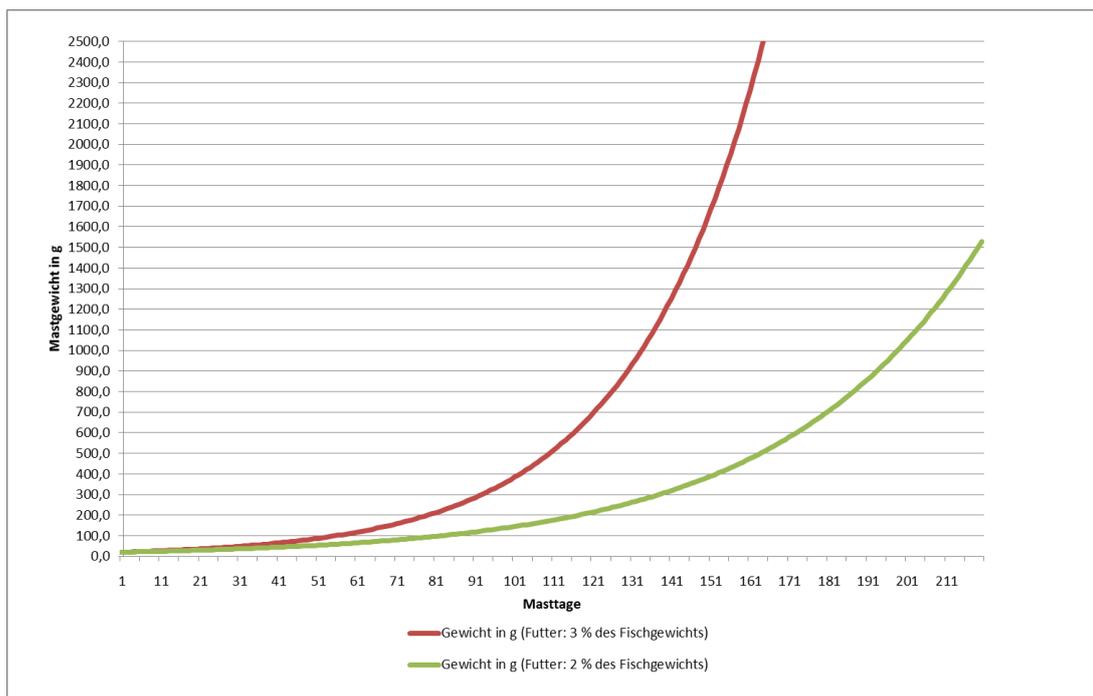


Abbildung 18: Gewichtsentwicklung der Fische bei unterschiedlichen Fütterungsintensitäten

Der Afrikanische Wels ist eine karnivore Art (Fleischfresser) und als solche auf eine intensive Versorgung mit tierischem Protein angewiesen. Um sei-

nem natürlichen Nahrungsanspruch gerecht zu werden, werden in der Fütterung vor allem Futtermittel auf Fischmehl- oder Fischölbasis eingesetzt. Die dafür verarbeiteten Fische stammen aus Wildfängen im Meer, was aus Gründen der Nachhaltigkeit und aufgrund der Überfischung der Meere als problematisch anzusehen ist. Die FH Soest beabsichtigt daher die Futterzusammensetzung der eingesetzten Welse so zu gestalten, dass zumindest ein Teil der tierischen Proteine durch pflanzliche Komponenten ersetzt wird.

Für andere fleischfressende Fische (Seesaiblinge, Lachse und Forellen) konnten Studien bereits belegen, dass der Einsatz vegetarischer Futtermittel ohne größere Einbußen der Fischgesundheit und der Mastleistung möglich ist. Für den Afrikanischen Wels sind vergleichbare Ergebnisse noch nicht bekannt. Es wird angenommen, dass die Fütterung pflanzlicher Komponenten dazu führt, dass das Futter von den Tieren schlechter angenommen wird und zudem die Verdauung negativ beeinflusst. Darüber hinaus kommt es bei der vegetarischen Fütterung zu einer auf den Fischkot zurückzuführenden Feststoffbelastung durch wesentlich kleinere, pflanzliche Kotpartikel, die durch herkömmliche Filteranlagen nur zu einem geringen Teil aus dem Wasser entnommen werden kann. Diese Problematik konnte auch durch den Einsatz von „guar gum“ (Guarkernmehl; Zusatzstoff, der als Füllstoff oder Verdickungsmittel eingesetzt wird) nicht hinreichend gelöst werden. Letztendlich ist nach dem derzeitigen Stand der Dinge der (vollständige) Ersatz des tierischen Proteins in der Fütterung des Afrikanischen Welses nur schwer zu realisieren (DEUTSCHER FISCHEREI-VERBAND 2008).

3.4 Fazit

Der Afrikanische Wels ist sehr gut für den Einsatz in Aquaponik-Anlagen geeignet, da er besonders robust und für Krankheiten wenig anfällig ist. Er kann den Luftsauerstoff für sich nutzen, sodass kein zusätzlicher Sauerstoff in das Becken zugesetzt werden muss. Zudem ist eine hohe Besatzdichte und somit eine hohe Produktivität möglich.

Problematisch ist neben der vegetarischen, nachhaltigen Fütterung des Afrikanischen Welses die Tötung. Der Fisch wird durch den Einsatz von Strom nicht ausreichend betäubt. Daher ist die Tötung nicht mit dem Tierschutzgesetz vereinbar. Es gibt zahlreiche alternative Fischarten für den Einsatz in Aquaponik-Anlagen, deren Haltung jedoch pflegeintensiver ist

4 Energetische Bewertung

Im folgenden Teil wird der Wärmebedarf für die genutzten Gebäudeteile berechnet. Dazu wurden alle relevanten Wände und die Grundfläche der Räume für die Hydrokultur und die Fischzucht vermessen und berechnet. Im nächsten Schritt wurden die Wärmeverluste, die über die Gebäudeteile entweichen, berechnet. Dabei ist anzumerken, dass die Verlust- bzw. Wärmeberechnung von einer ganzen Reihe an Faktoren abhängt. Eine genaue Berechnung ist alles andere als trivial, da vor allem die solaren Gewinne durch Sonneneinstrahlung, die Lüftungsraten und die Wirkungsgrade der Heizungsanlage nur abschätzend betrachtet werden können. Außerdem liegen die genutzten Räume innerhalb des gesamten Gebäudekomplexes, und es kann damit gerechnet werden, dass eine indirekte „Mitbeheizung“ der genutzten Räume durch eindringende Wärme der anderen Gewächshausräume erfolgt. Ein weiterer wichtiger Faktor sind die Außentemperaturen im Winter und Frühjahr. Um eine genaue Berechnung der voraussichtlich entstehenden Kosten durchführen zu können, bräuchte man zukünftige, exakte Temperaturverlaufs-Werte, die dann in eine Wärmebedarfsermittlung fließen würden. Es bleibt also zu beachten, dass die folgenden Werte aufgrund der Komplexität nur annäherungsweise errechnet werden konnten.

4.1 Gewächshaus – Flächen und Rauminhaltberechnung

Im folgenden Teil sind die Berechnungen der Wand- und Dachflächen sowie der Raumvolumen angegeben.

Berechnungen für die „Hydrokulturseite“

Grundfläche des Raumes (ohne Berücksichtigung der innenliegenden Betonaufkantung):

- $8,60\text{m} \times 4,80\text{m} = 41,3 \text{ m}^2$

Volumen des Raumes:

- $41,3\text{m}^2 \times 2,6\text{m}$ (bis Traufe) = $107,38 \text{ m}^3$
- $41,3\text{m}^2 \times 0,9\text{m} / 2$ (Dachraum) = $18,58 \text{ m}^3$

- $107,38 + 18,58 = 125,96 \text{ m}^3$ **Raumvolumen**

Erste Außenwand:

- $8,60 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ (bis Traufe) = $22,4 \text{ m}^2$

Zweite Außenwand:

- $4,8 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ (bis Traufe) = $12,5 \text{ m}^2$

Erste Innenwand:

- $4,8 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ (bis Traufe) = $12,5 \text{ m}^2$

Zweite Innenwand:

- $8,60 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ (bis Traufe) = $22,4 \text{ m}^2$

Dachfläche:

- Plattenlänge von Traufe bis First: $2,56 \text{ m}$
- $2,56 \times 8,60 \times 2 = 43,8 \text{ m}^2$ Dachfläche

Berechnungen für die „Fischzuchtseite“

Grundfläche des Raumes:

- $4,8 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} = 20,6 \text{ m}^2$

Volumen des Raumes:

- $20,6 \text{ m}^2 \times 2,6 \text{ m}$ (bis Traufe) = $53,56 \text{ m}^3$
- $20,6 \text{ m}^2 \times 0,9 \text{ m} / 2$ (Dachraum) = $9,27 \text{ m}^3$
- $53,56 \text{ m}^3 + 9,27 \text{ m}^3 = 62,83 \text{ m}^3$ **Raumvolumen**

Erste Außenwand

- $4,8 \times 2,6 \text{ m} = 12,5 \text{ m}^2$

Drei Innenwände

- $4,3 \text{ m} \times 2,6\text{m} = 11,2\text{m}^2$
- $4,6 \text{ m} \times 2,6\text{m} = 11,2 \text{ m}^2$
- $4,8 \times 2,6\text{m} = 12,5\text{m}^2$

Dachfläche:

Plattenlänge von Traufe bis First: 2,56 m

$2,56\text{m} \times 4,3 \text{ m} = 22 \text{ m}^2$ Dachfläche

4.2 Wärmebedarfsermittlung für das Gewächshaus

Um den Wärmebedarf der beiden Raumteile, vor allem in den kälteren Wintermonaten zu ermitteln, kann man mit Hilfe des sogenannten U-Wertes den Wärmedurchgangskoeffizienten (früher der k-Wert) berechnen. Ist der U-Wert für die Gebäudehüllen bekannt, kann im nächsten Schritt die benötigte Heizleistung ermittelt werden. Im Folgenden ist schematisch dargestellt, wie der U-Wert berechnet werden kann (PLAG 2014).

Transmissionswärmeverluste mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten berechnen:

- **Erster Schritt:** U-Werte für die beiden Raumteile ermitteln
- **Zweiter Schritt:** Lüftungsverluste für beide Raumteile ermitteln
- **Dritter Schritt:** Wärmebrückenberücksichtigung: Aufschlag auf alle berechneten U-Werte von 0,05 W/m²K

Der U-Wert und dessen Höhe sind von den verbauten Materialien und deren Isolationsvermögen abhängig. Um die Eigenschaften der Gewächshaushülle abschätzen zu können, wurden folgende Materialkombination für die Berechnung genutzt:

Gebäudehülle:

- Gebäudehülle aus je 5 mm kombinierter Doppelstegplatte (Kunststoff)

Dämmstoff:

Linitherm PAL SIL

- Dämmelement für Wandinnendämmung
- PU-Hartschaum nach DIN EN 13165
- Beidseitig Aludeckbeschichtet
- spezielle Kantenverbindung für mechanische Befestigung
- mit 6 mm raumseitig aufkaschierter Silikatplatte
- Baustoffklasse B2

- Format 2500 * 1200 mm

Aus den genannten Produktkombinationen wurde der U-Wert pro m² Fläche der Außenhülle berechnet. Dabei wird wie oben angegeben ein Lüftungsaufschlag von 0,05 Watt pro m² Fläche angenommen. Für die Materialkombination liegt der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) bei 0,44 W/m² + 0,05 W/m² Lüftungsaufschlag bei **0,49 W/m²** (W= Watt) (PLAG 2014).

Berechnung der Heizleistung

Annahme:

Es werden erst einmal nur die Außenwände und die Dachfläche als Verlustflächen angesehen, die Innenwandverluste sind klar abhängig davon, wie warm das Gewächshaus in den anderen Räumen beheizt ist! Außerdem ist die Annahme getroffen, dass die Außentemperatur bei durchschnittlich - 6 Grad und die Luftinnentemperatur in dem Raum der Fischzucht und der Hydrokultur bei 24 Grad liegen sollen:

Den Wärmestrom durch die einzelnen Flächen erhält man, indem man den U-Wert mit der Fläche (in m²) und der Temperaturdifferenz multipliziert:

Transmissionswärmeverlustleistung:

$$P = \text{U-Wert} * \text{Fläche} * \text{Temperaturdifferenz}$$

Vorteil der Formelanwendung ist die frei „wählbare“ Temperaturdifferenz. Das bedeutet, dass die Energiekostenermittlung je nach Außentemperaturverlauf dynamisch berechnet werden kann (PLAG 2014).

Im folgenden Fall ist exemplarisch mit den oben genannten Werten gerechnet worden:

Folgende Transmissionswärmeverluste sind für die **Hydrokulturseite berechnet:**

- Außenwände: $0,49\text{W/m}^2\text{K} \times (22,4+12,5)\text{m}^2 \times 30\text{ K} = \underline{513,03\text{ Watt}}$
- Dach: $0,49\text{W/m}^2\text{K} \times 43,8\text{m}^2 \times 30\text{K} = \underline{643,86\text{ Watt}}$

- Summe beider Werte beträgt 1156,89 Watt!

Die ermittelte Watt-Zahl gibt die Wärmeverlustleistung pro Stunde für die Gebäudehülle bei oben genannten Bedingungen an. Es ist bekannt, dass sich die **Stromkosten auf 0,21€ pro Kilowattstunde** belaufen. Die **Gaskosten liegen bei 5,5 Cent je Kilowattstunde**. Um den Wärmeverlust und die daraus resultierenden Kosten zu berechnen ist folgendermaßen vorgegangen worden:

Wärmeverlust für 24 h=

$1156,89 \times 24/1000 = \underline{27,76 \text{ kW}}$ für die Hydrokulturseite pro Tag

Kosten bei 100% Wirkungsgrad durch Strom/Gasheizung:

- Strom: $27,76 \text{ kW/h} \times 0,21 \text{ €} = \mathbf{5,83 \text{ € pro Tag}}$
- Gas: $27,76 \text{ kW/h} \times 0,055 \text{ €} = \mathbf{1,52 \text{ € pro Tag}}$
-

Kosten bei 80% Wirkungsgrad durch Strom/Gasheizung:

- Strom: $7,28 \text{ € pro Tag}$
- Gas: $1,9 \text{ € pro Tag}$

Bei dieser Kostenermittlung wird angenommen, dass die Kosten in der Höhe dann entstehen, wenn der Wirkungsgrad der Wärmeübertragung bei 100 % bzw. 80 % liegen würde und keinerlei solare Gewinne über die Sonneneinstrahlung oder interne Gewinne durch Beleuchtungswärme auftreten würden.

Folgende Transmissionswärmeverluste sind für die **Fischzuchtseite berechnet:**

- Wände: $0,49 \text{ W/m}^2\text{K} \times 12,5 \text{ m}^2 \times 30 \text{ K} = \underline{183,75 \text{ Watt}}$
- Dach: $0,49 \text{ W/m}^2\text{K} \times 22 \text{ m}^2 \times 30 \text{ K} = \underline{323,4 \text{ Watt}}$
- Summe beträgt **507,15 Watt!**

Wärmeverlust für 24 h

$507,15 \times 24 / 1000 = 12,17$ kW für die Fischseite pro Tag

Kosten bei 100% Wirkungsgrad durch Strom/Gasheizung:

- Strom: $12,17 \text{ kW/h} \times 0,21 \text{ €} = 2,55 \text{ € pro Tag}$
- Gas: $12,17 \text{ kW/h} \times 0,055 \text{ €} = 0,66 \text{ € pro Tag}$

Kosten bei 80 % Wirkungsgrad durch Strom/Gasheizung:

- Strom: **3,18 pro Tag**
- Gas: **0,825 € pro Tag**

4.3 Berechnung der Beheizung der Fischtanks

Im Folgenden wird berechnet, wie viel Energiebedarf nötig ist, um die Fischtanks auf die gewünschte Temperatur (24 Grad Celsius) zu beheizen. Dabei werden zwei unterschiedliche Betriebsabläufe angenommen. Der erste Fall beschreibt den Betriebsablauf mit 3 % Wasserverlust pro Tag und der zweite Fall das Verregnen von Wasser, beispielsweise dann, wenn die Nährstoffkonzentrationen des Wassers zu hoch für die gehaltenen Fische wird.

Rahmenbedingungen:

- 4500 Liter für die Fischtanks
- 8 Grad Wassertemperatur „IST“
- 27 Grad Wassertemperatur „SOLL“

Wärmebedarf:

- $1 \text{ J} = 1 \text{ Wattsekunde}$
- Man benötigt 4,19 Kilojoule um 1 Liter Wasser um einen 1 Grad Celsius zu erwärmen!
- Faustwert:
 $1,16 \text{ Wattstunden} \times \text{Temperaturunterschied} / 100 = \text{Benötigte kW/h pro Liter Wasser}$

Berechnung:

Einmaliges Aufheizen durch Strom/Gas bei 100% Wirkungsgrad:

- Formel $1,16 \text{ Wh} \times 27 \text{ Grad Celsius} - 8 \text{ Grad Celsius} = 0,022 \text{ kW/h}$
- Strom: $0,022 \text{ kW/h} \times 0,21\text{€} \times 4500 \text{ Liter} = \mathbf{20,79\text{€}}$
- Gas: $0,022 \text{ kW/h} \times 0,055\text{€} \times 4500 \text{ Liter} = \mathbf{5,44\text{€}}$

Einmaliges Aufheizen durch Strom/Gas bei 80% Wirkungsgrad:

Strom: **25,98€**

Gas: **6,80€**

4.4 Beheizung des kontinuierlich täglich zu ersetzenden Verlustwassers

Annahme „Verregnen“:

- 400 Liter Wasser pro Tag (ohne das Kreislaufsystem) entstehen an Verlust, da Verregnung der Wassermenge erfolgt:

Bei 100% Wirkungsgrad:

- Strom: $0,022 \text{ kW/h} \times 0,21\text{€} \times 400 \text{ Liter} = \mathbf{1,84\text{€ pro Tag}}$ oder 8,8 kW/h
- Gas: $0,022 \text{ kW/h} \times 0,055\text{€} \times 400 \text{ Liter} = \mathbf{0,48\text{€ pro Tag}}$ oder 8,8 kW/h

Bei 80% Wirkungsgrad:

- Strom: **2,3€ pro Tag**
- Gas: **0,6€ pro Tag**

Annahme „Kreislaufsystem“

Annahme von 3% Wasserverlust pro Tag ergibt bei 4500 Liter Wasser: 135 Liter

Bei 100% Wirkungsgrad:

Strom: $0,022 \text{ kW/h} \times 0,21\text{€} \times 135 \text{ Liter} = \mathbf{0,623\text{€ pro Tag}}$ oder 2,97 kW/h

Gas: $0,022 \text{ kW/h} \times 0,055\text{€} \times 135 \text{ Liter} = \mathbf{0,16\text{€ pro Tag}}$ oder 2,97 kW/h

Bei 80% Wirkungsgrad:

- Strom: **0,77€ pro Tag**
- Gas: **0,2€ pro Tag**

4.5 Beleuchtungskonzept

Das Wachstum von Pflanzen kann durch unterschiedliche künstliche Belichtungsquellen gesteuert werden. Verschiedene Lampentypen können dabei für eine Erhöhung oder Verringerung des Wachstums oder für eine gezielte Blüteninduktion von Pflanzen genutzt werden. Im folgenden Abschnitt werden zwei unterschiedliche Leuchtmittel mit ihren Vor- und Nachteilen dargestellt und verglichen.

Gewächshaus-Beleuchtung mit Natriumdampflampen

In den Gewächshäusern der Fachhochschule Südwestfalen werden für die allgemeine Beleuchtung und die künstliche Belichtung von Pflanzen sogenannte Natriumdampflampen (kurz NDL) verwendet. Natriumdampflampen haben verschiedene Vorteile und sind daher die bisher am meist verwendeten Beleuchtungsmittel im erwerbsmäßigen Gartenbau. Die Anschlussleistung für die Lampen ist gering und die Lichtausbeute hoch (bis zu 150 Lumen pro Watt). Nach dem Anschalten brauchen NDL einige Minuten um die volle Leuchtkraft zu erreichen. Die Lebensdauer liegt bei 25-30.000 Betriebsstunden. Werden die Lampen häufig geschaltet, kann sich die Lebensdauer allerdings erheblich verkürzen. Bei der Verwendung von NDL-Lampen ist ein Vorschaltgerät unbedingt notwendig. Dieses regelt den Zündvorgang und hält den elektrischen Strom auf einer beständigen Stärke. Die Wärmeabgabe der Lampen liegt bei ca. 90%, das heißt der größte Teil der elektrischen Leistung wird in Wärme umgewandelt (LICHT 2014; OSRAM 2014).

Natriumdampflampen entwickeln im Betriebszustand im Brenner bis zu 1000 Grad Celsius und am Lampenglas können Außentemperaturen von bis zu 300 Grad Celsius erreicht werden. Diese hohe Wärmeabstrahlung sollte bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung der Lampen mitberücksichtigt werden. Werden die Pflanzen der Hydrokultur im Winter zusätzlich belichtet, würde durch

die Lampen eine zusätzliche Heizenergie zur Verfügung stehen. Im Umkehrschluss stellt die Wärmeentwicklung im Sommer bei hohen Außentemperaturen aber auch einen Nachteil für die Klimaführung im Gewächshaus dar. Die Wirtschaftlichkeit der Natriumdampflampen ist für das laufende Aquaponik-Projekt insofern vorhanden, dass eine Neuanschaffung der Lampen nicht mehr stattfinden muss, da die Lampen vor der Gebäudeumnutzung schon installiert waren. Es wird zu prüfen sein, bei welchen Kulturen eine künstliche Belichtung, beispielsweise im Winter, sinnvoll und vor allem wirtschaftlich zu betreiben ist. Betrachtet man allerdings aktuelle Entwicklungen in der Lampen- und Belichtungsbranche, ist vor allem die LED-Technologie diejenige, die bereits im breiteren Einsatz des erwerbsmäßigen Gartenbaus ist und durch laufende Entwicklungen mit hoher Wahrscheinlichkeit die Belichtungs-technologie der Zukunft ist. Im Folgenden Abschnitt wird das LED-Belichtungskonzept mit den aktuellen Vor- und Nachteilen detaillierter dargestellt (LICHT 2014; OSRAM 2014).

Pflanzenbelichtung mit LED- Technologie der Zukunft

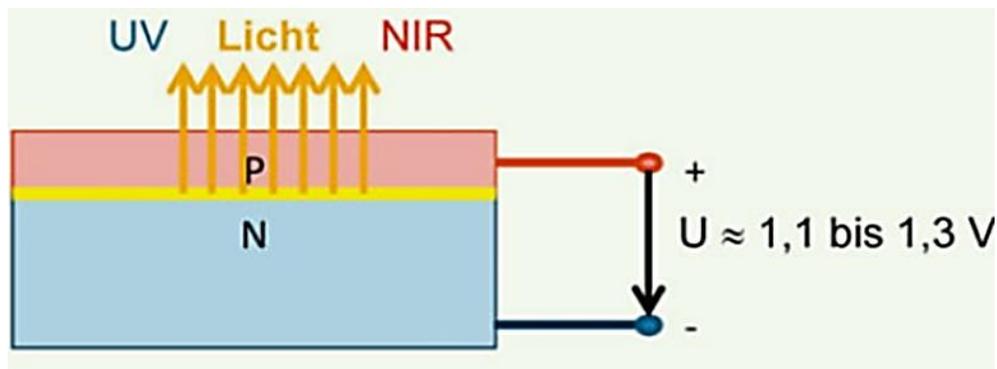
Die Assimilation von Pflanzen in Gewächshäusern sollte in den Wintermonaten durch Belichtung verbessert und dadurch die Kulturzeit reduziert werden. Zudem besteht so die Möglichkeit, Pflanzen in besserer Qualität zu produzieren (TANTAU 2014 S.11). Auch nach SPRINGER (2012) ist die Belichtung von Pflanzenkulturen im Gartenbau schon lange ein bedeutendes Thema. Es sollen dadurch höhere Erträge, geringere Kulturzeiten und bessere Qualitäten erzeugt werden (SPRINGER 2014). Diese flächendeckend eingesetzte Maßnahme ist jedoch durch die dabei entstehenden hohen Energiekosten als teuer zu bezeichnen (TANTAU 2014 S. 11).

Die Natriumhochdruckdampflampe ist in der gärtnerischen Praxis am weitesten verbreitet (MÜLLER 2011 S. 11). In die Diskussion, um bei der Belichtung von Gewächshauskulturen Energie zu sparen, rücken immer wieder „Licht emittierende Dioden“ (LED) in den Vordergrund (TANTAU 2014 S. 11). Hinsichtlich LED-Leuchten sprechen die einen von zukunftsweisender Technik, die anderen sind durch technische Schwierigkeiten und die Grenzen der

Leistungsfähigkeit jedoch skeptisch (SPRINGER 2012). Nachfolgend soll das Beleuchtungskonzept näher erläutert werden.

Gewächshausbeleuchtung mit LED:

Die Lichterzeugung einer LED-Lampe wird in der Abbildung 19 schematisch dargestellt. Wenn Strom durch die Diode geleitet wird, kommt es am Übergang zwischen der positiven und der negativen Schicht zur Anregung von Elektronen, die dadurch Licht einer bestimmten Wellenlänge emittieren. Je nachdem welches Material verwendet wird, können LEDs im roten, gelben, grünen oder blauen Bereich emittieren (TANTAU 2014 S.11).



Quelle: TANTAU 2014

Abbildung 19: Schematische Lichterzeugung in einer LED

Für die moderne Pflanzenbelichtung sind nur die heutigen Hochleistungs-LEDs (H-LEDs) interessant, da deren Effizienz im Vergleich zu ihren Vorgängern gesteigert wurde. Die besten LEDs erreichen einen Wirkungsgrad von 35 %. 65 % der zugeführten Energie werden folglich als Wärme abgegeben. Diese Wärme wirkt sich negativ auf die Lebensdauer der Leuchten aus, sie muss also abgeführt werden. Das kann aktiv über Ventilation bzw. Wasserkühlung, oder passiv über eine vergrößerte Oberfläche erfolgen (TANTAU 2014 S.11).

Ein erster Vorteil der LED Beleuchtung besteht in der Möglichkeit, den Pflanzen gezielt das Licht-Spektrum anbieten zu können, mit dem eine hohe pho-

tosynthetische Effizienz erzielt werden kann. Diese Effizienz ist im Bereich des blauen und roten Lichts am höchsten (TANTAU 2014 S.11). Auch nach MÜLLER (2011 S.12) ist das beliebig einstellbare Farbspektrum ein wichtiger Vorteil. LUDWIG (2012) beschreibt durch Einsatz von blauen und roten LED-Leuchten eine Steigerung des Pflanzenwachstums bei geringerem Energieeinsatz. Als zweiter Vorteil ist die lange Lebensdauer der Leuchten zu nennen. Sie kann, nach Angaben der Hersteller, bis zu 50.000 Stunden betragen (MÜLLER 2011 S.11). Nach SPRINGER (2014) geben Unternehmen sogar bis zu 100.000 Stunden als Lebensdauer der LED-Leuchten an. Ein weiterer für den Betreiber wichtiger Aspekt ist der geringe Energieverbrauch. Zudem wird keine Wärme in den Pflanzenbestand abgegeben (MÜLLER 2011 S.11). Das ermöglicht den Einsatz von LED-Lampen in niedrigen Gewächshäusern durch eine tiefere Aufhängung der Leuchten. In Abbildung 20 ist eine LED-Beleuchtung direkt über dem Pflanzenbestand installiert.



Quelle: PHILIPS 2014

Abbildung 20: Installation einer LED-Beleuchtung direkt im Pflanzenbestand

Hier wird von SPRINGER (2012) das System „OptoGrowia“ des finnischen Unternehmens Netled genannt, da es besonders für hohe Reihenkulturen wie z.B. Tomaten oder Gurken geeignet ist. Weiterhin ist auf eine geringe Anfälligkeit gegenüber einer hohen Schaltheufigkeit hinzuweisen (MÜLLER 2011

S.11). Auch nach SPRINGER (2012) lassen sich LED-Leuchten beliebig oft schalten, ohne dass sie dabei Schaden nehmen.

Ein erster Nachteil der LED-Lampen sind die hohen Investitionskosten. Sie sind ca. vier- bis fünfmal so teuer wie Natriumhochdruckdampflampen (TAN-
TAU 2014 S.14). Negativ ist auch die hohe Wärmeentwicklung in den Chips, da somit eine aktive oder passive Kühlung der Lampe erforderlich wird. Weiterhin ist im Vergleich zu Natriumhochdruckdampflampen auf eine geringere Lichtausbeute hinzuweisen (MÜLLER 2011 S.11). Ein nächster Aspekt ist der Abstrahlwinkel des Lichtes. LED-Lampen weisen einen geringeren Abstrahlwinkel auf, was eine ungleichmäßige Ausleuchtung der Fläche zur Folge haben kann. Auch die Frage der Entsorgung alter LED-Beleuchtungen ist nach MÜLLER (2011 S. 16) noch nicht ausreichend erörtert worden.

In Versuchen von MÜLLER (2011 S. 14) konnte bei einem Vergleich von LED mit Natriumhochdruckdampflampen herausgestellt werden, dass mit LEDs die gleiche Pflanzenqualität erzeugt werden kann wie mit ND. Weiterhin waren ein kompakteres Wachstum, z.T. höhere Frisch- und Trockenmasseerträge sowie eine intensivere Grünfärbung bei den mit LEDs beleuchteten Pflanzen erkennbar (MÜLLER 2011 S. 14). Zudem ist darauf hinzuweisen, dass jede Pflanzenart scheinbar ein eigenes Lichtspektrum hat, bei dem sie optimal reagiert. Bei Versuchen mit Kräutern konnte jedoch keine Auswirkung des LED-Lichtes auf den Geschmack erkannt werden (MÜLLER 2011 S.15). Eine andere Aussage trifft der Betreiber einer Anlage für Indoor-Farming in Berlin. Demnach kann durch LED - Licht, je nachdem welche Wellenlänge eingestellt wird, der Geschmack des Gemüses beeinflusst werden (MÜNSTERMANN 2014). Die Versuche mit LED - Beleuchtung werden fortgesetzt, da bislang noch wenig gesicherte Aussagen über diese Art der Gewächshausbeleuchtung vorliegen. Für viele Experten steht der Einsatz von LED-Lampen in Deutschland außer Frage. Die hohen Anschaffungskosten und der noch hohe Energieverbrauch verhindern bislang die weite Verbreitung dieser Technik (MÜLLER 2011S. 16).

Die folgende Tabelle stellt die Technologie der Natriumdampf Lampe vergleichend zur LED-Technologie dar.

Tabelle 4: Vergleich der Belichtungen

Eigenschaften	Natriumdampf-Lampen	Licht emittierende Dioden (LED)
Investitionskosten	Gering	Hoch
Wärmeentwicklung	Hoch	Niedrig
Leistungsaufnahme (Watt)	400 - 600 W	95 – 365 W
Spannung (Volt)	230 V, Wechselspannung	230 V, Wechselspannung
Wirkungsgrad (%)	35	35
Energieverbrauch	Im Vergleich zu LED höher	Niedrig
Lebensdauer	25.000 bis 30.000 Betriebsstunden (Herstellerangaben)	25.000 bis 100.000 Betriebsstunden (Herstellerangaben)
Farbspektrum des Lichtes	Rot-gelb	Beliebig einstellbar
Anfälligkeit gegenüber Schalthäufigkeit	Hoch	Niedrig
Kühlung	Passiv über die Oberfläche	Aktiv (Wasser oder Luft) / Passiv

QUELLE: verändert nach MÜLLER 2011 u. OSRAM 2014

4.6 Wärmekonzept

Zur Planung der Aquaponik-Anlage im Gewächshaus der Fachhochschule Südwestfalen in Soest gehört auch ein Wärmekonzept zur Erwärmung der Raumluft. Dabei sollen sowohl im Bereich der Fischzucht als auch im Bereich der Hydrokultur durch eine Beheizung optimale Bedingungen für die Pflanzen und Fische geschaffen werden. Zurzeit wird das Gewächshaus über Heizkörper, die an die zentrale Gasheizung der Fachhochschule angeschlossen sind, beheizt. Der Strom für die Beleuchtung im Gewächshaus wird über das öffentliche Stromnetz bezogen.

Im Zuge der Projektplanung wurde auch über alternative Möglichkeiten der Wärme- und Stromversorgung für die Aquaponik-Anlage nachgedacht. Als Alternativen zur Wärmeversorgung über die zentrale Gasheizung kommen eine gasbetriebene Kraft-Wärme-Kopplung oder vom Gas unabhängig eine auf dem Gewächshausdach installierte Photovoltaikanlage infrage. Die Kraft-Wärme-Kopplung soll mit Hilfe eines kleinen Blockheizkraftwerks dabei sowohl die nötige Wärme als auch den Strom für die elektrischen Anlagen liefern. Alternativ soll mit einer Photovoltaikanlage auf dem Gewächshausdach der Strombedarf für Heizung und Stromversorgung gedeckt werden. Welches System welche Vor- und Nachteile bringt, soll in der folgenden Beschreibung erklärt werden.

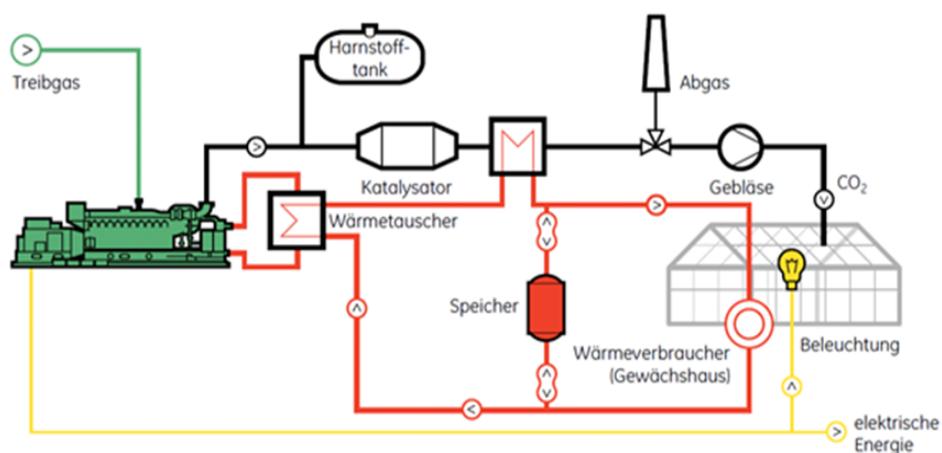
Umsetzung des Wärmekonzepts mit einer Kraft-Wärme-Kopplung

Eine Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) dient zur Erzeugung von Wärme und Strom mit Hilfe eines Blockheizkraftwerks (BHKW). Dabei wird mit einem Verbrennungsmotor ein Generator angetrieben, der dann Strom erzeugt. Die entstehende Wärme wird mit Wärmetauschern so umgewandelt, dass sie genutzt werden kann und der produzierte Strom wird bei Bedarf selbst verbraucht oder ins öffentliche Netz eingespeist. Eine Voraussetzung und gleichzeitig ein Vorteil ist, dass die Anlage dort installiert wird, wo die Wärme und der Strom benötigt werden. KWK-Anlagen sind entweder nach dem Wärmebedarf oder nach dem Strombedarf ausgelegt. Am häufigsten werden Anlagen installiert, die sich nach dem Wärmebedarf richten. Das Blockheiz-

kraftwerk einer Kraft-Wärme-Kopplung sollte so ausgelegt sein, dass die Grundlast des Wärmebedarfs gedeckt werden kann und das BHKW kontinuierlich läuft. Insbesondere bei Gewächshäusern ist der Wärmebedarf bei Sonneneinstrahlung reduziert, da über die Glasflächen eine große Wärmemenge aufgenommen wird (BINE 2015).

Kraft-Wärme-Kopplung im Gewächshaus

Um auf die besonderen Anforderungen in einem Gewächshaus einzugehen, ist bei dem unten abgebildeten Konzept eine Düngung über CO_2 aus den Abgasen des Gasmotors eingeschlossen, wobei eine CO_2 -Düngung erst ab einer überdachten Fläche von einem Hektar angeboten wird. Der Gasmotor erzeugt zum einen Wärme, die mit Wärmetauschern nutzbar gemacht wird und den Wärmebedarf im Gewächshaus deckt. Außerdem wird mit einem Speicher Wärme gespeichert, wenn aufgrund der Sonneneinstrahlung genug Wärme vorhanden ist. Der über den Generator erzeugte Strom wird für die Beleuchtungsanlage und die restlichen Stromverbraucher verwendet. Der überschüssige Strom kann ins öffentliche Netz eingespeist werden.



Quelle: GE-DISTRIBUTEDPOWER 2015

Abbildung 21: Beispiel einer KWK-Anlage mit integrierter CO_2 -Düngung

Der Gesamtwirkungsgrad einer solchen Anlage mit integrierter CO₂-Nutzung kann bei bis zu 95 % liegen. Der elektrische Wirkungsgrad einer Anlage liegt dabei zwischen 20 und 50 %, wobei der Wirkungsgrad mit zunehmender Anlagengröße steigt. Bei den Blockheizkraftwerken sind Größenordnungen von einem bis zu mehreren hundert Kilowatt elektrischer Leistung verfügbar.

Größenordnung einer KWK-Anlage für das geplante Aquaponik-Projekt

Als Grundlast für das BHKW wird der tägliche Wärmebedarf angenommen, der für die Erwärmung von 400 l Wasser aus der Fischzuchtanlage auf 27°C benötigt wird. Aus der Berechnung der Warmwasserheizung für die Fisch-tanks geht hervor, dass der Wärmebedarf bei 8,8 Kw/h pro Tag liegt, also muss das BHKW eine Wärmeleistung von ca. 9 Kw/h bereitstellen. Um die Spitzenlast zu decken, das heißt die restliche Raumluft bei ca. 20°C zu halten, sollte ein gewöhnlicher Heizkessel oder eine elektrische Heizung instal-liert werden.

Im Sommer, wenn die Außentemperatur hoch genug ist, kann ein Wartungs-fenster für das BHKW eingeplant werden, da der Wärmebedarf dann auf-grund der Sonneneinstrahlung geringer ist.

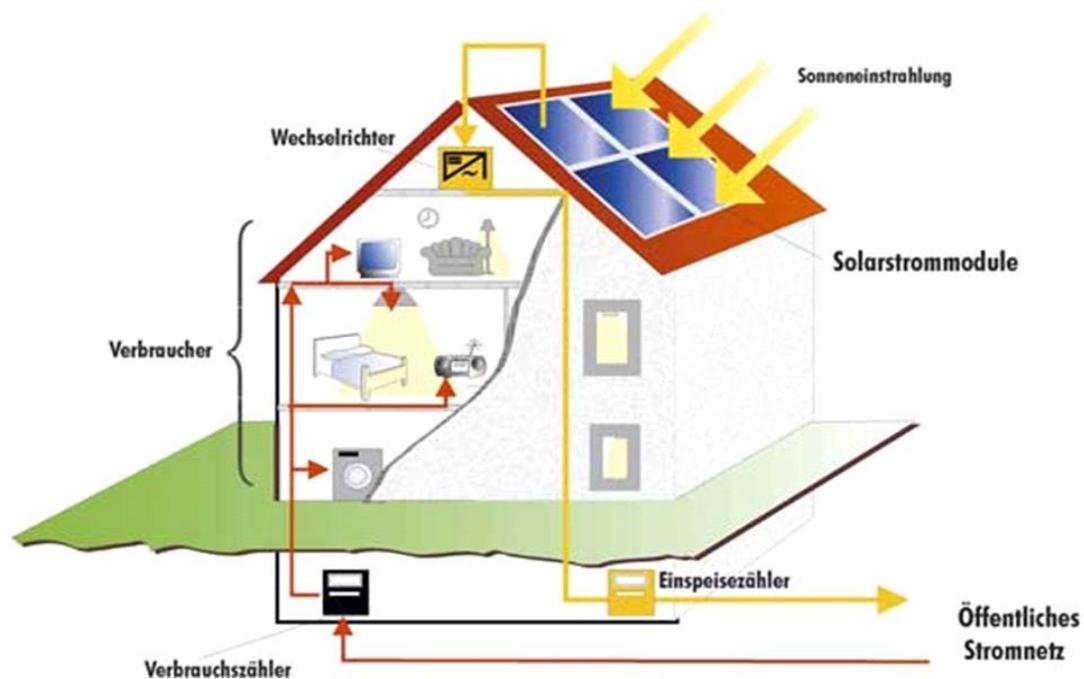
Vorteile / Nachteile einer KWK

- + hoher Wirkungsgrad
- + CO₂ Einsparung
- + vorhandener Gasanschluss kann genutzt werden
- hohe Investitionskosten im Vergleich zur Anlagengröße

Nutzung von Photovoltaik

Regenerative Energien als primäre Möglichkeit der Energiebereitstellung werden in der Geschichte der Menschheit schon sehr lange genutzt. Vor die-sem Hintergrund ist jedoch darauf hinzuweisen, dass Photovoltaik (Solaran-lage) und Erdgas für die Raumheizung und Stromerzeugung von immer grö-ßerer Bedeutung sind. Die Begründung dafür liegt in der ausreichenden Ver-fügbarkeit und in den geringen Investitionskosten für die Energieumwand-

lungsanlagen. Allgemein wird also ein Teil der von der Sonne eingestrahnten Energie als Strahlung empfangen und in eine andere nutzbare Energieform umgewandelt. Hier wird z.B. in einer Solarstromanlage (Photovoltaikanlage) die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom ermöglicht. Der Vorgang der Umwandlung wird als photovoltaischer Effekt bezeichnet und beschreibt die Wechselwirkung zwischen dem einstrahlenden Sonnenlicht und dem dotierten (mit Fremdelementen verunreinigten) Halbleitermaterial der Solarzelle (vgl. Abb. 22).



Quelle: ELEKTRO-STRUCK 2015

Abbildung 22: Netzgekoppelte Solarstromanlage

Die Solarmodule, bestehend aus einer Reihenschaltung von Solarzellen, sind die kleinsten zu unterscheidenden Bausteine einer Solaranlage. Sie sind hermetisch gekapselt und für eine Reparatur nicht mehr zugänglich.

Während der Fertigung der kristallinen Solarzellen werden zunächst die einzelnen Zellen produziert. Daraufhin werden sie mit Metallfolie verbunden. Die Solar- oder Photovoltaikzellen sind das Herzstück eines Solargenerators. Ihr

wichtigster Bestandteil ist das hochreine Silizium und sie weisen eine durchschnittliche Kantenlänge von 10 bis 20 cm auf. Das sogenannte Solarmodul als eine elektrische Einheit, entsteht durch das Zusammenfassen mehrerer Solarzellen. Die Leistung der handelsüblichen Solarmodule liegt zwischen ca. 170 und 265 Wp (p = Peak, Spitze).

Betrachtet man die Anzahl der in sich verschalteten Solarzellen, hängen diese von der Solarmodulgröße ab. Damit die Module vor äußeren Einflüssen geschützt sind, werden diese mit einem lichtdurchlässigen Spezialglas versehen. Der Wirkungsgrade der Module liegen bei bis zu 20%, wobei die PV-Industrie die Wirkungsgrade in den letzten Jahren deutlich steigern konnte. Beim Einsatz sehr leistungsfähiger Solarmodule können pro Quadratmeter Fläche bis zu 265 Wp erzielt werden. (PHOTVOLTAIK.ORG). Ausschlaggebend für die tatsächliche Leistung der Module ist die Dachneigung, die Ausrichtung und auch geografische Gegebenheiten. Die Neigung der Module sollte zwischen 30 und 35 Grad liegen und die Ausrichtung nach Süden erfolgen.

In Deutschland werden auf Dächern mit Südausrichtung ca. 800 bis 1050 kWh je kWp (kWp = Kilowatt peak = Spitzenleistung) Sonnenstrom erzeugt. Der Vorteil: Sonnenstrom ist hundertprozentig „sauber“ und entlastet die Umwelt mit etwa einer halben Tonne Kohlendioxid pro kWp-Generatorleistung im Jahr.

Die Kosten für die Module liegen zurzeit zwischen 1,46 Euro und 2,09 Euro pro Watt Peak, je nach Anlagengröße und Modulhersteller. Die Höhe der Vergütung und den Vorrang der Stromeinspeisung für Solarstrom legt das Erneuerbare-Energien-Gesetz [EEG] fest.

Diese Vergütung soll Investoren eine Rendite ermöglichen und durch fortschreitende Degression eine weitere Minimierung der Stromgestehungskosten von PV-Anlagen stimulieren. Anlagen, die Ende 2014 in Betrieb gehen, werden je nach Anlagengröße und -bauart mindestens 90 % der Strommen-

ge zwischen 8,76 und 12,66 ct/kWh für die kommenden 20 Jahre vergütet (DIE WELT 2015).

Vorteile/Nachteile einer Photovoltaikanlage:

- + relativ wartungsfrei
- + lange Garantie
- + Photovoltaik-Anlagen machen keinen Lärm
- + Unabhängigkeit von Strompreisen bei Eigenverbrauch
- hohe Investitionskosten.
- wenn die Sonne nicht scheint, gibt es keinen Strom.

4.7. Fazit

Die Aquaponik-Anlage der Fachhochschule Südwestfalen ist ein energieintensives Projekt. Die Beheizung der Räumlichkeiten und des Wassers für die Fische stellt vor allem im Winter aufgrund der großen Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenluft einen wesentlichen Kostenfaktor dar. Dabei ist eine Berechnung der benötigten Wärmemengen alles andere als trivial und von sehr vielen Faktoren abhängig. Vor dem Hintergrund der Energieeffizienz und den möglichen CO₂ Emissionen stellen die Technologien der Kraft-Wärme-Kopplung und die Nutzung von Eigenstrom durch eine PV-Anlage in Zukunft interessante Alternativen aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht dar. Es bleibt aber anzumerken, dass die Rentabilität der Aquaponik-Anlage nach der Einschätzung der Energiegruppe maßgeblich davon abhängt, inwieweit kostengünstige oder im besten Falle kostenfreie Energiebezugsquellen in Form von Industrie-Abwärme oder eines Biogas-Abwärme-Konzeptes zu nutzen wären. Es wird die Aufgabe des laufenden Pilotprojektes sein, die tatsächlichen Kostenstrukturen zu erfassen und kostengünstige Alternativen in Form oben genannter Energiebezugsquellen zu erschließen und bestenfalls zu nutzen.

Ein weiterer interessanter Ansatz ist die Optimierung der Rentabilität durch eine Erhöhung des Pflanzenwachstums pro Zeitperiode. Dies kann durch

eine künstliche Beleuchtung in Form von Natriumdampflampen oder LED erfolgen. Vor allem die letztgenannte Möglichkeit einer LED-Beleuchtung wird durch einen ständigen Technologiefortschritt vor dem Hintergrund der Energieeffizienz in Zukunft eine wirtschaftliche Möglichkeit darstellen, die pflanzlichen Erträge einer Aquaponik-Anlage zu optimieren und damit einen Baustein für eine höhere Rentabilität und bessere Produktqualitäten zu liefern. Zu den Auswirkungen von LED-Beleuchtung auf Pflanzenmerkmale wie z.B. den Geschmack sind bislang wenig abgesicherte Aussagen vorhanden. Durch den eventuellen Einsatz von LED-Technik in der Aquaponik-Anlage der Fachhochschule Südwestfalen in Soest, besteht aber zukünftig die Möglichkeit, Auswirkungen der Beleuchtung bei verschiedenen Pflanzenarten mit verschiedenen Wellenlängen weiterführend zu untersuchen.

5 Vermarktung

Die Produkte aus der Hydro- und der Aquakultureinheit dienen als wertvolle Lebensmittel und werden nach der Aufzucht vermarktet. Im folgenden Kapitel wird die aktuelle Marktsituation am Beispiel des Afrikanischen Welses und die möglichen Vorteile des Betriebs eine Aquaponik-Anlage erörtert. Zudem werden die Absatzorganisation sowie die rechtlichen Grundlagen für den Transport und die Schlachtung von Fischen dargestellt. Abschließend werden unterschiedliche Vermarktungsstrategien beschrieben.

5.1 Aktuelle Marktsituation in Deutschland am Beispiel des Afrikanischen Welses

Die Produktion von Fisch erfolgt in Deutschland hauptsächlich in Verfahren wie Teichwirtschaft, Becken/Fließkanäle, Kreislaufanlagen und Netzgehegen. In Tabelle 5 wird die Anzahl produzierender Betriebe, sowie die produzierte Menge aus dem Jahr 2013 aufgeführt.

Tabelle 5: Betriebe mit Erzeugung in Aquakultur und erzeugter Menge in 2013

Erzeugung	Betriebe	Produzierte Menge
Fischen insgesamt	6093	2040998 3
darunter		
Bachforelle	469	700685
Regenbogenforelle (ohne Lachsforelle)	2598	8333793
Lachsforelle	262	1266955
Bachsaibling	260	353595
Elsässer Saibling	283	1529421
Gemeiner Karpfen	3852	5699625
Schleie	740	156321
Zander	317	55434
Hecht	340	45186
Europäischer Aal	17	706683

Europäischer Wels	110	157872
Afrikanischer Raubwels	10	695081
Sibirischer Stör	53	258505
Sonstige Fische	579	450827

Quelle: Eigene Darstellung nach DESTATIS 2014

Wie in der Tabelle zu sehen, liegt die Erzeugung von Fisch in Aquakulturbetrieben im Jahr 2013 bei einer Menge von 20.400 Tonnen. Dies bedeutet eine Steigerung der Produktion von rund 4,2 % gegenüber dem Vorjahr.

Im Folgenden soll nun noch die Entwicklung der Welsproduktion in Deutschland genauer betrachtet werden. Hierzu sind die Daten über die Anzahl der Betriebe sowie die produzierte Menge für den Zeitraum von 2011 bis 2013 aufgeführt worden.

Tabelle 6: Betriebe mit Welsproduktion und die erzeugte Menge 2011 - 2013

Erzeugung	Betriebe	Produzierte Menge
2011		
Europäischer Wels	.	202917
Afrikanischer Raubwels	5	318575
2012		
Europäischer Wels	110	198196
Afrikanischer Raubwels	9	429579
2013		
Europäischer Wels	110	157872
Afrikanischer Raubwels	10	695081

Quelle: Eigene Darstellung nach DESTATIS 2014

Der Afrikanische Raubwels erzielt 2013 mit einer produzierten Menge von knapp 700 Tonnen einen Anstieg der Produktion von 61,8 %. Dem hingegen ist bei dem europäischen Wels eine Abnahme der Produktion zu verbuchen. Anhand der Übersicht wird auch deutlich, dass der europäische Wels in weitaus kleineren Beständen gehalten wird als der Afrikanische Wels. (DESTATIS 2014).

Aquaponik

Die kommerzielle Verbreitung von Aquaponik ist in Deutschland noch nicht etabliert. So gibt es jedoch bereits langjährige Forschungsanlagen wie an dem Leibnitz- Institut für Gewässerschutz und Binnenforschung in Berlin oder auch an der Universität Rostock (SENFBERGER 2012). In Berlin entsteht derzeit auf dem Gelände der alten Malzfabrik die größte Aquaponik Anlage Europas (ECF 2014). Im Hobbybereich ist das System jedoch bereits weit verbreitet (SENFBERGER 2014).

5.2 Alleinstellungsmerkmal der Aquaponik-Anlage an der Fachhochschule Südwestfalen, Standort Soest

Der Fisch, als Produkt aus einer Forschungsanlage der Fachhochschule, ist in der Region Südwestfalen kein zweites Mal erhältlich. Somit kann bei der Vermarktung die Besonderheit des Produktes in Vordergrund gestellt werden. Die sich ergebenden Vermarktungsvorteile sind in der folgenden Aufzählung dargestellt.

1. Neugierde / Interesse

Die Produktion vor der Haustür in einem System, dass doch vielen Menschen unbekannt sein wird. Dies könnte für so einige ein Anreiz sein, nicht nur das Produkt zu konsumieren, sondern sich auch über die Art der Produktion zu informieren.

2. Regionalität

Eine Vermarktung in der Umgebung des Campus Soest entspricht dem derzeitigen Trend für Produkte aus regionalem Anbau.

3. Bekanntheit / Vertrauen

Ein weiterer Vorteil liegt in der Bekanntheit des Labels „Fachhochschule Südwestfalen“. Somit kann sichergestellt sein, dass

Verbraucher das Produkt direkt zuordnen können und somit eventuell positiv assoziieren.

4. Nachhaltigkeit

Auch die umweltschonende Produktion, die durch das Aquaponik- System erreicht wird, kann in der Vermarktung einen positiven Effekt darstellen (NABU 2014 S. 3 f).

Die aufgeführten Vorteile beziehen sich explizit auf das besondere System in dem produziert wird. Aspekte wie die Qualität oder Schmackhaftigkeit des Produzierten Fisches werden nicht berücksichtigt.

5.3 Die Welsproduktion an der FH Südwestfalen, Standort Soest

Die Fachhochschule SWF am Standort Soest wird Wels in drei Becken zu je 150 m³ produzieren. Es wurden verschiedene Besatzdichten von 75 kg, 300 kg und 450 kg pro Becken besprochen. Die Anzahl der Durchgänge pro Jahr hängt neben der Besatzdichte vom Startgewicht der Setzlinge, der Futterverwertung und der Reinigungszeit pro Becken ab. Bei der Inbetriebnahme der Anlage sollen Setzlinge mit einem Gewicht von 150 g genutzt werden. Später soll das Startgewicht auf 20 g reduziert werden. Die Futterverwertung wird mit zwei bis drei Prozent angenommen. Für die Reinigung wird zunächst eine Woche gerechnet. In den folgenden Tabellen (Tab. 7 und 8) sind die verschiedenen möglichen Produktionsmengen nach Futterverwertung in Abhängigkeit der oben genannten Faktoren zu sehen.

Tabelle 7: Mögliche Produktionsmengen Fisch (kg/Jahr) bei einer Futterverwertung von 2% an der FH SWF, Soest

Besatz pro Becken (kg)	Anzahl Fische pro Becken (Stück)	Reinigungs- dauer (d)	Aufzucht-dauer (d) bis 1,5 kg		Durchgänge pro Jahr		Fisch/Becken (kg/Jahr)	
			20 g	150 g	20 g	150 g	20 g	150 g
450	300	7	220	118	1,6	2,9	720	1305
300	200						480	870
75	50						120	217,5

Bei einer Futterverwertung von zwei Prozent sind 120 kg bis 1305 kg Fisch pro Jahr und Becken möglich. Die Aufzucht-dauer beträgt bei Setzlingen mit

20 g 220 Tage, bei Setzlingen mit 150 g 118 Tage. Die jährliche Gesamtmenge, die produziert werden kann, beträgt 360 kg bis 3915 kg.

Tabelle 8: Mögliche Produktionsmengen Fisch (kg/Jahr) bei einer Futterverwertung von 3% an der FH SWF, Soest

Besatz pro Becken (kg)	Anzahl Fische pro Becken (Stück)	Reinigungs-dauer (d)	Aufzucht-dauer (d) bis 1,5 kg		Durchgänge pro Jahr		Fisch/Becken (kg/Jahr)	
			20 g	150 g	20 g	150 g	20 g	150 g
450	300	7	147	79	2,3	4,2	1035	1890
300	200						690	1260
75	50						172,5	315

Bei einer Futterverwertung von drei Prozent sind jährliche Mengen von 172,5 kg bis 1890 kg pro Becken und somit 517,5 bis 5670 kg Gesamtmenge möglich. Die Aufzucht-dauer beträgt bei Setzlingen mit 20 g Startgewicht 147 Tage, bei der Variante mit den 150 g schweren Setzlingen hingegen nur 79 Tage.

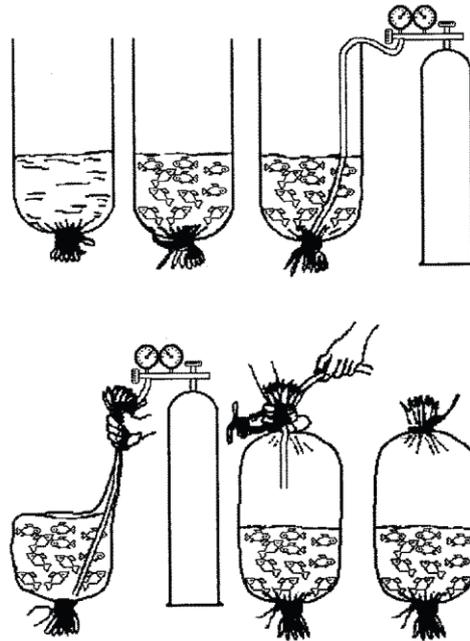
Es ist arbeitstechnisch nicht sinnvoll und bedeutet außerdem zu viel Stress für die Fische, einzelne schlachtreife Fische aus einem Becken zu sortieren. Daher ist eine Schlachtung pro Becken angestrebt. Außerdem wird aufgrund der Transportkosten eine synchrone Belegung der drei Becken empfohlen.

5.4 Auflagen und Empfehlungen für den Lebendfischtransport

Den Transport von Fischen regeln die EG-Verordnung Nr.1/2005 über den Schutz von Tiere beim Transport und die nationale Tierschutz-Transportverordnung (GAYE-SIESSEGGGER 2009 S.22). Die EG-Verordnung Nr.1/2005 schreibt im Allgemeinen vor, dass die Beförderungsdauer der Tiere so kurz wie möglich gestaltet sein sollte. Zudem sollten die zu befördern- den Tiere transportfähig und die entsprechenden Transportmittel ausreichend groß sein. Zudem sollte während des Transports sichergestellt werden, dass Verletzungen und Leiden verhindert und das Wohlbefinden der Tiere regelmäßig kontrolliert werden (EG-VO 1/2005).

Die Tierschutz-Transportverordnung regelt im Speziellen auch den Transport von Fischen. Für den Transport gilt, dass dieser nicht länger als 8 Stunden dauern sollte. Das Transportmittel sollte zudem über ein genügendes Wasservolumen verfügen, um den Fischen ausreichende Bewegungsmöglichkeiten zu bieten. Die Wasserqualität, Sauerstoffversorgung und die Temperaturansprüche der jeweiligen Fischart müssen ebenfalls berücksichtigt werden (TSCHTRV 2009). Das bedeutet laut KRAUS et al. (2013 S.7f.), dass ein plötzlicher Wechsel der Umweltbedingungen im Sinne des Tierwohls vermieden werden sollten.

Grundsätzlich werden zwei verschiedene Transportsysteme (geschlossenes und offenes System) unterschieden. Jungfische werden i.d.R. aber nur in geschlossenen Systemen transportiert. Als geschlossenes System werden dichte Behälter bezeichnet, die das gesamte Wasser und den Sauerstoff für den Transport enthalten, während bei offenen Systemen das Wasser durch eine zusätzliche Quelle stetig mit Sauerstoff versorgt wird. Das geschlossene System besteht häufig aus 50 l Kunststoffsäcken, die durch eine Gasflasche mit hochgradigem Sauerstoff und mit Wasser befüllt werden (KRAUS et al. 2013 S.8) (vgl. Abbildung 23).



Quelle: BERKA 1986

Abbildung 23: Transportieren von Jungfischen in Kunststoffsäcken

Dabei sollte auf ein Verhältnis von 1:3 oder 2:3 (Wasser: Gasatmosphäre) geachtet werden. Beim Transport sollten die befüllten Säcke zudem flach hingelegt und abgedunkelt werden, damit der Stress für die Fische durch zu hohen Lichteinfall reduziert wird (KRAUS et al. 2013 S.9).

Die Besatzdichten solcher Kunststoffsäcke sind abhängig von der Temperatur des Wassers, der Fischgröße sowie der voraussichtlichen Beförderungsdauer (vgl. Tabelle 9). Bei 20 °C Wassertemperatur und vier Stunden Beförderungsdauer können laut BERKA (1986) in einem 50l Sack max. 60.000 Setzlinge (Dottersackbrut) transportiert werden. Die maximale Besatzdichte reduziert sich mit zunehmender Wassertemperatur und steigender Transportdauer. Auch bei dem Transport von Vorstreckbrut (2–3cm große Setzlinge) muss die Menge der Fische pro Kunststoffsack reduziert werden (BERKA 1986).

Tabelle 9: Empfehlungen zur max. Besatzdichten in 50 l Kunststoffsäcken von Dottersackbrut am Beispiel Wels in Abhängigkeit von Temperatur und Transportdauer

Temperatur							
20 °C				25 °C			
Transportdauer in h							
4	8	12	(24)	4	8	12	(24)
Max. Besatzdichte in Tausend							
60	50	40	30	40	30	25	15

Quelle: nach BERKA 1986

Ausgewachsene Fischen werden hingegen in offenen Systemen befördert. Diese Behälter haben i.d.R. ein Fassungsvermögen 1000–2000l und eine Wassertiefe von 1m. Die Behälter sind zudem temperaturisoliert (KRAUS et al. 2013 S.10).

Hinsichtlich des Transportunternehmens bzw. der für den Transport verantwortlichen Person ist sicherzustellen, dass diese eine entsprechende Qualifikation aufweist (KRAUS et al. 2013 S.19). So darf nur ausreichend geschultes Personal Tiere transportieren. Als geschultes Personal werden Personen mit landwirtschaftlichem oder veterinärmedizinischem Fachhochschul- oder Hochschulabschluss sowie Personen mit einem Berufsabschluss als Fleischer, Landwirt, Fischwirt, etc. bezeichnet (TSCHTRV 2009). Zudem müssen bei einem Transport ab einer Entfernung von 50 km Transportpapiere mitgeführt werden. Diese müssen

- die Herkunft und den Eigentümer der Fische
- den Versandort
- den Beginn des Transports (Datum und Uhrzeit)
- den vorgesehenen Bestimmungsort
- die voraussichtliche Dauer des Transports

dokumentieren (EG-VO 1/2005).

Aufgrund der geringen Anzahl von Fischen pro Becken und der asynchronen Leerung der Becken ist mit hohen Transportkosten für den Jungfischzukauf

zu rechnen. Laut KATHS (2012 S.58) fallen 75 % des Stückpreises pro Setzling für den Transport von Setzlingen an.

5.5 Auflagen für die Schlachtung von Fischen

Die Tierschutz-Schlachtverordnung (TIERSCHLV) dient dem Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung. Vorrichtungen zum Ruhigstellen sowie Ausrüstungen und Anlagen für das Betäuben, Schlachten oder Töten der Tiere sind so zu planen, zu bauen, instand zu halten und zu verwenden, dass ein rasches und wirksames Betäuben und Schlachten oder Töten möglich ist.

Wer Tiere betreut, ruhigstellt, betäubt, schlachtet oder tötet, muss über die hierfür notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten (Sachkunde) verfügen. Der Sachkundenachweis wird von der zuständigen Behörde oder der sonst nach Landesrecht zuständigen Stelle auf Antrag erteilt, wenn die Sachkunde im Rahmen einer erfolgreichen Prüfung (u.a. Grundkenntnisse der Anatomie und Physiologie, tierschutzrechtliche Vorschriften, Physik und Chemie, Kenntnisse über Eignung und Kapazität der jeweiligen Betäubungsverfahren) oder eine als gleichwertig anerkannte Qualifikation nachgewiesen worden ist (TIERSCHLV 2012).

Auf dem Schlachthof müssen Tiere in Behältnissen in aufrechter Stellung entladen werden. Wer einen Fisch schlachtet oder tötet, muss diesen unmittelbar vor dem Schlachten oder Töten betäuben. Für die Betäubung von Fischen sind folgende Verfahren zulässig: Elektrobetäubung, stumpfer Schlag auf den Kopf, Verabreichung eines Stoffes mit Betäubungseffekt (ausgenommen Stoffe wie Ammoniak, die gleichzeitig dem Entschleimen dienen) (TIERSCHLV 2012).

Für die eigene Schlachtung an der Fachhochschule Südwestfalen in Soest ist die Anschaffung von diversen Anlagen und Ausrüstungen für das Ruhigstellen, Betäuben und Schlachten von Fischen notwendig. Für die Aufbewahrung am Schlachtort werden aufrecht stehende Behälter benötigt, die den Fischen ausreichend Bewegungsraum bieten. Es muss zudem ein

Mitarbeiter gestellt werden, der über einen Sachkundenachweis oder eine ähnliche Qualifikation verfügt und für die Schlachtung verantwortlich ist.

Da die Fachhochschule bisher über keine dieser Anlagen oder Ausrüstungen verfügt, müssen diese neu angeschafft werden und räumliche Gegebenheiten im Rahmen der Tierschutz-Schlachtverordnung und der Lebensmittelhygiene-Verordnung entsprechend umgebaut werden. Dazu sollten die Wände, Böden und Arbeitsflächen gut zu reinigen und zu desinfizieren sein. Außerdem muss eine ausreichende Personalhygiene und die Einhaltung einer geeigneten Temperatur für die Schlachtung gewährleistet werden (LMHV 2007). Hierfür bieten sich i.d.R. Schwarz-Weiß-Bereiche an. Ob sich eine Errichtung eines Schwarz-Weiß-Bereichs bei der Menge an produzierten Fisch lohnt, müsste durch eine Investitionsrechnung überprüft werden.

Aus diesem Grund wird die Auslagerung der Schlachtung der an der Fachhochschule produzierten Fische an externe Betriebe empfohlen. Dazu können die Fische nach Erreichen des gewünschten Endgewichtes lebend verkauft und zu den schlachtenden Betrieben transportiert werden.

5.6 Fischhändler

Mögliche Abnehmer werden im Folgenden vorgestellt. Dabei wurden sowohl regionale Händler als auch eine Erzeugergemeinschaft angefragt. Es wurde zudem eine Eigenvermarktung in Erwägung gezogen.

Fischhandel Shirly Dietz

Der Fischhandel von Familie Dietz liegt in Bad Sassendorf (7km entfernt von Soest). Hauptsächlich vermarktet der Betrieb zahlreiche Fischprodukte auf verschiedenen Wochenmärkten in der Region. Auf Anfrage stellte sich heraus, dass der Betrieb kein Interesse an dem Afrikanischen Wels hat. Die Nachfrage nach Wels auf den Wochenmärkten sei so gering, dass sich die Familie momentan keine Absatzkooperation mit der Fachhochschule vorstellen kann (DIETZ 2014).

Max & Moritz

Der Feinkostgroßhandel Max & Moritz in Soest zeigte generell kein Interesse an einer Zusammenarbeit mit der Fachhochschule und reagierte nicht auf die Kontaktaufnahme.

Fischhof Baumüller

Der Fischhof Baumüller in Wickede (24 km entfernt von Soest) arbeitet seit über 40 Jahren mit der Vermarktung und Veredelung von Speisefisch. Zum Betrieb gehören eine Forellenaufzucht und –haltung, eine Räucherei, ein Hofladen und eine Fischstube. Die Produkte werden außerdem auf verschiedenen Wochenmärkten angeboten (Neheim, Werl, Iserlohn, Unna).

Zum Angebot gehören unter anderem Frischfisch (Forelle, Lachsforelle, Saibling, Aal, Lachs, saisonal auch Karpfen), Räucherfisch (Forelle, Lachsforelle, Aal, Räucherlachs, Gravedlachs, kanadischer Wildlachs, Makrele, Makrelenfilet, Heilbutt, Butterfisch), Seefische (Seelachsfilet, Rotbarschfilet, Viktoriabarschfilet, Schollenfilet, Kabeljaufilet, Dorade, Thunfisch, Gambas, Nordseekrabbenfleisch) und Marinaden (Brathering, Bratrollmops, Bismarckhering, Rollmops, Gourmetmatjes, Sahnehering, Heringsfilet in Senf-Honig-Dill-Marinade) (FISCHHOF BAUMÜLLER 2014).

Mehrere Versuche der Kontaktaufnahme im Zeitraum von November 2014 bis Januar 2015 blieben erfolglos. Es konnte nicht geklärt werden, ob seitens des Fischhofs Baumüller ein Interesse an einer Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Soest im Bereich der Schlachtung und Vermarktung von an der Fachhochschule produziertem Afrikanischen Wels besteht.

Eigenvermarktung

Für die eigene Vermarktung des an der Fachhochschule Soest produzierten Afrikanischen Welses muss eine Verkaufsmöglichkeit gegeben sein. Diese kann stationär oder mobil sein. Außerdem wird dafür Personal benötigt. Aus Sicht der Vermarktungsgruppe gestaltet sich eine Eigenvermarktung, solange nicht absehbar ist, auf welchen Preis sich die Produktionskosten

tatsächlich belaufen, schwierig. Eine eigene Schlachtung kommt zum jetzigen Zeitpunkt aufgrund fehlender Räumlichkeiten auch nicht in Frage.

Fischgut Nord eG

Die Erzeugergemeinschaft Fischgut Nord e.G., mit ihrem Sitz in Abtshagen (570 km von Soest entfernt), wurde von verschiedenen landwirtschaftlichen Unternehmen gegründet um die Aquakultur mit dem Afrikanischen Wels weiterzuentwickeln. Heute bietet sie neben der gemeinsamen Vermarktung der Welse auch verschiedene andere Dienstleistungen, wie gemeinsamen Futter- und Jungfischeinkauf an (FISCHGUT-NORD EG 2014). Die Vermarktung der Fische läuft hauptsächlich unter der Eigenmarke Filetas, die unter anderem Spezialitäten wie Welswürstchen und –roulade anbietet (FILETAS 2014). Herr Elies aus dem Vorstand der Erzeugergemeinschaft erklärte, dass eine Vermarktung des Fisches über die Fischgut Nord eG durchaus möglich wäre.

Im Kontakt mit ihm zeichnete sich jedoch auch ab, dass der Transport der Fische nach Abshagen in Mecklenburg-Vorpommern sehr hohe Transportkosten verursachen wird, sodass die Wirtschaftlichkeit und der Rationalitätsgedanke der gesamten Anlage sehr darunter leiden würde. Leider konnten wir zu den Verkaufserlösen der Fische, bei dieser Variante, bisher wenig erfahren, denn diese Preise orientieren sich an den abgelieferten Fischmengen (ELIES 2014).

Soester Fischhaus

Das Soester Fischhaus wurde Anfang 2013 eröffnet und befindet sich im Einkaufszentrum am Riga-Ring in Soest. Das Fischhaus verbindet den Verkauf von Frischfisch mit einem Restaurant, in dem verschiedene Fischgerichte angeboten werden. Zudem gibt es einen Einzelhandel mit Koch- und Küchenutensilien für die Zubereitung von Fisch. Inhaber des Unternehmens sind Marcus und Karsten Nüsken, die auch zwei REWE-Märkte in Soest sowie in Kamen und Dortmund betreiben. An der Frischfischtheke werden insgesamt 30 Fischarten angeboten. Neben

klassischen Konsumfischen zählen dazu auch Süßwasserfische. Des Weiteren können auch Matjestopf und Grillmarinaden erworben werden (N.N. 2013 c).

Auf eine Anfrage, ob eine Vermarktung des Afrikanischen Welses über das Unternehmen möglich ist, bestätigte Karsten Nüsken Interesse an der Abnahme des Fisches. Aktuell wird diese Vermarktungsmöglichkeit mit den REWE-Inhabern diskutiert.

5.7 Fazit

Der starke Anstieg der produzierten Menge an Afrikanischen Wels in Deutschland lässt darauf schließen, dass derzeit eine hohe Nachfrage besteht. Ein ausreichender Absatzmarkt ist für diese Fischart gegeben. Die Vermarktung unter der Dachmarke „Fachhochschule Südwestfalen“ einige Vorteile mit sich bringt. Je nach Produktionsintensivität ergeben sich verschiedene Absatzmengen, welche jährlich produziert werden können. Das Startgewicht der Setzlinge, die Besatzdichte pro Becken, die Futterverwertung und die Reinigungszeit der Becken beeinflussen diese. So lassen sich 360 kg bis 5670 kg Lebendgewicht Fisch pro Jahr produzieren. Aufgrund der stark variierenden Produktionsmengen kommt ein eigener Transport der Setzlinge

Für eine eigene Schlachtung an der Fachhochschule muss in Ausrüstung, Personal und Räumlichkeiten investiert werden, die verantwortliche Person muss außerdem einen Sachkundenachweis vorweisen, aus diesen Gründen wird empfohlen die Schlachtung auszulagern. Von den angefragten Unternehmen hat Rewe Nüsken Interesse an der Vermarktung der Fische gezeigt. Details zum Umfang dieser Zusammenarbeit werden durch Prof. Dr. Lorleberg und Karsten Nüsken verhandelt. Eine weitere Option ist die Vermarktung über Fischgut Nord eG, jedoch aufgrund hoher Transportkosten aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll.

6 Wirtschaftlichkeitsrechnung

Im folgenden Kapitel wird die Wirtschaftlichkeit der Aquaponik-Demonstrationsanlage anhand der Deckungsbeitragsrechnung, der Durchschnittskosten und der Leistungskostendifferenz sowie einer Sensitivitätsanalyse ermittelt und abschließend bewertet. Als Grundlage gelten die ermittelten Parameter der Aqua- und Hydrokulturproduktion.

6.1 Methode

Bei der Investition in eine Aquaponik-Anlage wird aus Gründen der vereinfachten Darstellung davon ausgegangen, dass die jährlichen Deckungsbeiträge über die gesamte Nutzungsdauer gleichbleibend sind. Allerdings könnten in der Realität zu Produktionsbeginn niedrigere DB entstehen, als nach einer gewissen Einarbeitungszeit. Dieser Sachverhalt spielt aber auf Grund der Unsicherheiten bei den Leistungs- und Kostenparametern eine eher untergeordnete Rolle. Neben dem DB sind noch die Durchschnittskosten (DK) einer Investition von Relevanz. Wenn diese beiden Kenngrößen bekannt sind, kann daraus die Leistungs-Kostendifferenz (LKD) ermittelt werden. Denn die LKD ergibt sich aus dem Deckungsbeitrag abzüglich der Durchschnittskosten. Die LKD gibt dabei den jährlichen durchschnittlichen Überschuss einer Investition wieder. Ist sie positiv, so kann davon ausgegangen werden, dass eine Anlage rentabel ist (MÜßHOFF u. HIRSCHAUER 2011 S. 249f).

Der DB bezieht sich immer auf ein Produktionsverfahren. Deshalb soll für den Tier-, sowie den Pflanzenteil jeweils eine separate DB-Berechnung durchgeführt werden. Im DB werden deshalb nur Kosten und Leistungen berücksichtigt, die dem jeweiligen Verfahren direkt zugeordnet werden können. Errechnet wird er, indem von den Leistungen die variablen Kosten abgezogen werden. Schwierigkeiten entstehen in diesem Berechnungsverfahren in der Einbeziehung der Kosten von Koppelprodukten. So besitzt das Fischwasser einen Düngewert für die Pflanzen. Umgekehrt wird das Wasser wiederum für eine Rückleitung in ein Fischbassin durch die Pflanzen gereinigt.

Da diese Koppelproduktion einen beiderseitigen Nutzen in etwa gleicher Höhe für die jeweiligen Systeme ergibt, sollen sie nicht separat mit in die DB-Berechnung einfließen (DABBERT u. BRAUN 2006 S. 164).

Die jährlichen DK einer Investition bilden sich grundsätzlich gesehen aus den fixen Kosten. So werden die Abschreibung, ein Zinsansatz und die Betriebskosten eingerechnet. Mit der Abschreibung wird die Wertminderung der Anlage abgebildet. Diese soll dabei linear auf die Nutzungsdauer verteilt werden. Durch den Zinsansatz werden Kosten wiedergespiegelt, die durch den Einsatz des Eigenkapitals entstehen. Die Fremdkapitalzinsen sind somit nicht damit gemeint. Würde die Investition nicht durchgeführt, so könnte das eigene Kapital an anderer Stelle ebenso gewinnbringend angelegt werden. In den Betriebskosten sind Kosten für Versicherung, Reparaturen und Betriebsstoffe zusammengefasst. In der finanzmathematisch exakten Kalkulation der DK werden die annualisierten Kapital- und Betriebskosten zusammengefasst. In dieser Berechnung soll aus Vereinfachungsgründen die approximative DK-Kalkulation genügen. Auf Grund der bereits beschriebenen Unsicherheiten bei Planungskriterien, reicht diese Methode in der Regel aus (MUßHOFF u. HIRSCHAUER 2011 S. 251f). Die folgende Formel berechnet die approximativen Durchschnittskosten.

$$DK_{app} = \frac{AW - RW}{N} + \left((AW - RW) \cdot f_{i_{kalk:N}} + RW \right) \cdot i_{kalk} + \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=1}^N BKT$$

Quelle: MUßHOFF u. HIRSCHAUER 2011 S. 251

6.2 Deckungsbeitragsberechnung

Fischproduktion

Die für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit herangezogenen Parameter wurden in den vorherigen Kapiteln definiert. Daher soll an dieser Stelle nur noch eine Zusammenfassung aller Werte für die DB-Berechnung der Fischproduktion abgebildet werden (siehe Tab. 10).

Tabelle 10: Parameter zur Berechnung des DB der Fischproduktion

Parameter	Einheit	Wert
Besatzdichte bei Ausstallung	kg/m ³ Wasser	250
Wassermenge gesamt	m ³	3
Ø Besatz in 1000 Stück	Tsd. Stück/Durchgang	0,57
Besatzfischgewicht	g/Setzling	20
Besatzgewicht gesamt	kg	11,36
Abfischgewicht	g/Fisch	1.500
Verluste	%	12
Zuwachs je erzeugtem Fisch	g/Fisch	1.480
Erzeugte Fische nach Verlusten	Tsd. Stück/Durchgang	0,500
Erzeugte Produktionsmenge nach Verlusten	kg LG/Durchgang	750
Futtermittelkosten	Zunahme/kg Futter (%)	85
Produktionsdauer	Tage	150
Ausstallen bis Einstallen	Tage	2
Ausschlachtung Wels	%	60
Erzeugerpreis Afrikanischer Wels	€/kg SG	5,50
Besatzfischpreis	€/1000 Setzlinge	35,00
Futtermittelkosten	€/kg	1,22
Tierarztkosten etc.	€/1000 Setzlinge	2,00
Kosten Ge-/ Verbrauchsgegenstände	€/1000 Setzlinge	20,00
Kosten var. Maschinenkosten	€/1000 Setzlinge	25,00
Transportkosten	€/1000 Setzlinge	105,00
Strombedarf Fischproduktion	kWh/Jahr	500,00
Stromkosten	€/kWh	0,21
Heizung Gasbedarf	kWh/ Jahr	4.000,00
Gaspreis	€/kWh	0,06

Akh-Bedarf	Akh/Durchgang	30,00
Lohnkosten	€/Akh	15,00
Sonst. Var. Kosten	€/Durchgang	35,00

Für die DB-Berechnung wurde zuerst die Marktleistung, die aus dem Verkauf des Afrikanischen Welses entsteht, ermittelt. Diese ergibt sich aus der erzeugten Produktionsmenge von 750 kg LG je Durchgang, multipliziert mit der Ausschachtung in Höhe von 60 % und einem Erzeugerpreis von 5,50 €/kg SG. Die Marktleistung beträgt demnach 2475 € pro Durchgang. Nach Umrechnung auf ein Jahr ergibt sich damit eine Gesamtleistung von 5943,26 € (siehe Tab. 11).

Für die Berechnung der variablen Kosten müssen hingegen mehrere Parameter beachtet werden. Der mit Abstand größte Kostenpunkt bei dieser Kalkulation ist dabei das Futter mit 1206,95 € pro Durchgang. Berechnet wird dieser Punkt aus dem Zuwachs von 1480 g je Fisch, multipliziert mit dem Besatz in Höhe von 570 Fischen je Durchgang. Der daraus entstehende Gesamtzuwachs aller Fische beträgt 843,6 kg. Wird nun eine Futtermittelkosten von 1,22 pro kg zugrunde gelegt, so ergeben sich daraus die gesamten Futterkosten. Zweitgrößter Kostenfaktor ist der Lohn. Hier wird mit 450 € pro Durchgang kalkuliert. Die anfallende Arbeitszeit von 30 Akh je Durchgang sind dabei aber nur sehr grob geschätzt, sodass es hier durchaus zu erheblichen Abweichungen nach oben oder unten kommen könnte (siehe Tab. 11). Alle weiteren Kostenparameter spielen sich im Gegensatz zu den beiden erstgenannten in einem eher geringen Rahmen wieder, sodass sie hier nicht noch mal gesondert erläutert werden.

Nach Addition aller Faktoren betragen die variablen Gesamtkosten 1933,54 € pro Durchgang. Das sind auf das Jahr umgerechnet 4643,05 €. Werden nun die variablen Kosten von den Leistungen abgezogen, ergibt sich ein DB in Höhe von 1300,21 €/Jahr. Auf einen Durchgang bezogen wären das 541,46 € und pro eingesetztem Besatzfisch 0,95 € (siehe Tab. 11).

Tabelle 11: Berechnung des Deckungsbeitrags der Fischproduktion

Leistungen Fisch		
Marktleistung	€/ Durchgang	2.475,00
Marktleistung	€/ Jahr	5.943,26
Variable Kosten Fisch		
Besatzkosten	€/ Durchgang	19,89
Futterkosten	€/ Durchgang	1.206,95
Tierarzt, Medikamente, Hygiene	€/ Durchgang	1,14
Ge- und Verbrauchsgegenstände	€/ Durchgang	11,36
Variable Maschinenkosten	€/ Durchgang	14,20
Transport	€/ Durchgang	59,66
Heizkosten	€/ Durchgang	91,62
Stromkosten	€/ Durchgang	43,73
Lohnkosten	€/ Durchgang	450,00
Sonstige variable Kosten	€/ Durchgang	35,00
Summe variable Kosten	€/ Durchgang	1.933,54
Summe variable Kosten	€/ Jahr	4.643,05
Deckungsbeitrag	€/ Jahr	1.300,21
	€/ Durchgang	541,46
	€/ Besatzfisch	0,95

Gemüseproduktion

Auch in der Gemüseproduktion wurde mit Werten gerechnet, die schon in vorherigen Kapiteln genauer erläutert wurden. Daher erfolgt an dieser Stelle nur eine Zusammenfassung aller Parameter, die in die Berechnung mit eingeflossen sind (siehe Tab. 12).

Tabelle 12: Parameter zur Berechnung des DB in der Gemüseproduktion

Parameter	Einheit	Wert
Tomate		
-Anbaufläche	m ²	25
-Anbauzeit/Durchgang	Tage/Jahr	310
-Erzeugte Menge/ Durchgang u. m ²	kg/(m ² *Durchgang)	52
-Erzeugte Menge	kg/Jahr	1.531
-Erzeugerpreis	€/kg	4,50
-Pflanzung	€/Pflanzling	2,80
-Anzahl Pflanzlinge	Pflanzen/m ²	2,60
-P-Schutz	€/(m ² *Durchgang)	0,10
-Dünger	€/(m ² *Durchgang)	2,00
-Arbeitszeitbedarf	Akh/Durchgang	80,00
-Pflanzung	Akh/Durchgang	2,00
-Vegetationsperiode	Akh/Durchgang	52,00
-Ernte	Akh/Durchgang	26,00
Lohnkosten	€/Akh	15,00
-Sonst. Var Kosten	€/(m ² *Durchgang)	2,50
Strombedarf Gemüseproduktion	kWh/Jahr	500,00
Stromkosten	€/kWh	0,21
Heizung Gasbedarf	kWh/Jahr	12.500,00
Gaspreis	€/kWh	0,06

In der Gemüseproduktion ergeben sich die gesamten Leistungen durch den Verkauf von Tomaten. Andere Produkte wurden an dieser Stelle nicht betrachtet. Insgesamt entsteht dabei eine Marktleistung von 6887,90 € p.a.. Diese errechnet sich aus der erzeugten Menge von 1531 kg, multipliziert mit einem Marktpreis von 4,50 €/kg.

Bei den variablen Kosten stechen vor allem zwei Blöcke heraus. An erster Stelle stehen dabei die Lohnkosten. Ausgehend von 80 Akh pro Durchgang und Lohnkosten von 15 €/Akh entstehen Lohnkosten von 1200 €. Nach Extrapolation auf ein ganzes Jahr ergibt sich damit ein Wert von 1412,90 €. Weiterhin schlagen die Heizkosten mit 687,50 € p.a. zu Buche.

Werden nun alle Kostenblöcke addiert, belaufen sich die variablen Gesamtkosten auf eine Höhe von 2555,10 € pro Jahr. Nachfolgend werden diese variablen Kosten von den Leistungen abgezogen. Somit ergibt sich ein DB von 4332,81 € pro Jahr in der Gemüseproduktion. Umgerechnet auf das kg erzeugt Tomate ist das ein Wert von 2,83 €. Bezogen auf die Anbaufläche kann mit einem DB von 173,31 €/m² gerechnet werden (siehe Tab. 13).

Tabelle 13: Berechnung des Deckungsbeitrags der Gemüseproduktion

Marktleistungen Tomate		
Summe Leistungen	€/ Jahr	6.887,90
Variable Kosten Tomate		
-Einkauf Pflanzlinge	€/ Jahr	214,29
-Pflanzenschutz	€/ Jahr	2,94
-Dünger	€/ Jahr	58,87
-Lohnkosten	€/ Jahr	1.412,90
-sonst. var. Kosten	€/ Jahr	73,59
Stromkosten	€/ Jahr	105,00
Heizung	€/ Jahr	687,50
Summe variable Kosten	€/ Jahr	2.555,10
Deckungsbeitrag	€/ Jahr	4.332,81
	€/ kg Tomate	2,83
	€/ m ² Anbaufläche	173,31

6.3 Berechnung der Durchschnittskosten und der Leistungskostendifferenz

- Durchschnittskosten

Durch die Umsetzung des Projektes entstehen einerseits Kosten für die Aquaponik-Anlage, welche von der Firma PAL-Anlagenbau geliefert wird. Diese belaufen sich insgesamt auf 50.000 €. Andererseits wird noch mit 10.000 € für alle sonstigen anfallenden Posten gerechnet. Darin beinhaltet, sind hauptsächlich die baulichen Veränderungen, welche an dem vorhandenen Gewächshaus durchgeführt werden müssen (LORLEBERG 2014). Überdies wird eine Nutzungsdauer von 20 Jahren unterstellt. Der Kalkulationszinsfuß soll 3 % betragen. Als durchschnittliche jährliche Kosten werden 1.200 € angesetzt (siehe Tab. 14). Diese sind nach einem üblichen Verfahren mit 2 % des gesamten Anschaffungswertes in Höhe von 60.000 € geschätzt worden (MUßHOFF u. HIRSCHAUER S. 252).

Tabelle 14: Ausgangsparameter zur Berechnung der Durchschnittskosten bei Investition in einer Aquaponik-Anlage

Parameter	Einheit	Wert
Aquaponik-Anlage	€	50.000
bauliche Veränderungen Gewächshaus	€	10.000
Anschaffungswert gesamt	€	60.000
Ø jährliche Betriebskosten	€	1.200
Restwert	€	5.000
Nutzungsdauer	Jahre	20
i_{kalk}	%	3

Quelle: nach LORLEBERG 2014

Mit den in der vorherigen Tabelle genannten Ausgangsparametern und der oben im Text beschriebenen Kalkulationsmethode können nun die approximativen Durchschnittskosten ermittelt werden. Für die Abschreibung entstehen damit durchschnittliche Kosten von 2.750 €. Als Zinsansatz werden 1.097 € einkalkuliert. Die Betriebskosten betragen 1.200 €. Werden diese drei Kostenpunkte addiert, betragen die Durchschnittskosten 5.047 € pro Jahr (siehe Tab. 15)

Tabelle 15: Berechnung der Durchschnittskosten einer Aquaponikanlage

Parameter	Einheit	Wert
Ø Abschreibung	€	2.750
Ø Zinsansatz	€	1.097
Ø Betriebskosten	€	1.200
Dk_{app}	€	5.047

- Leistungs-Kostendifferenz

Zur Ermittlung der LKD werden zuerst die beiden zuvor berechneten Deckungsbeiträge der Fisch-, sowie der Gemüseproduktion addiert. Dadurch ergibt sich ein Gesamt-DB in Höhe von 5.633 € pro Jahr. Von diesem Betrag werden im Anschluss die approximativen Durchschnittskosten in Höhe von 5.047 € abgezogen, sodass die LKD rund 586 € beträgt. Auf Grund dieses Ergebnisses kann davon ausgegangen werden, dass sich die Investition lohnt. Denn wie in Kapitel 6.1 beschrieben, ist eine Investition bei positiver LKD rentabel (MUßHOFF u. HIRSCHAUER S. 250).

6.4 Sensitivitätsanalyse

Nachdem der DB bei gegebenen Parametern ermittelt wurde, wird nun die Sensitivität des Ergebnisses auf Änderungen ausgewählter Ausgangsparametern untersucht. Ziel dieser Sensitivitätsanalyse ist die Ermittlung der Belastbarkeit der ermittelten Deckungsbeiträge. Nach dem c.p.- Prinzip wird in einer solchen Analyse immer nur ein Parameter verändert. Alle anderen Werte werden so belassen, wie sie in der Ausgangsrechnung angegeben sind (MUßHOFF u. HIRSCHAUER S. 406).

Auf der Seite der Fischproduktion wurden Veränderungen bei der Besatzdichte, dem Erzeugerpreis, sowie den Kosten für Futtermittel durchgeführt. Die angenommenen Schwankungen betragen dabei jeweils 20 %. Bei Betrachtung der Deckungsbeiträge p.a. sticht vor allem die Senkung des Erzeugerpreises heraus. Sollte der beschriebene Rückgang des Wertes in der Realität nachhaltig erfolgen, würde sich auch die LKD ins Negative bewegen. Dies hätte dann die Folge, dass die gesamte Investition nicht mehr rentabel wäre. Bei einer Abnahme der Besatzdichte oder einer Zunahme der Futtermittelkosten um 20 %, würde die LKD gerade noch über der Schwelle von Null liegen (siehe Tab. 16).

Tabelle 16: DB und LKD der Fischproduktion bei sich ändernden Input-Parametern

	Keine Änderung	Besatz-dichte (-20 %)	Erzeuger-preis (-20 %)	Futtermittel-kosten (+20 %)
DB (€/Jahr)	1.300,21	742,24	111,55	720,55
DB (€/ Durchgang)	541,46	309,10	46,46	300,07
DB (€/ Besatzfisch)	0,95	0,68	0,08	0,53
LKD	586,08	28,11	-602,57	6,42

In der Pflanzenproduktion wurde weiterhin eine Abnahme der erzeugten Menge in Höhe von 20 % untersucht. Sollte diese eintreffen, so würde der DB um über 1.300 € p.a. abfallen. Das wiederum hätte zur Folge, dass die LKD weit unter die Rentabilitätsgrenze absinkt. Die Erhöhung des Akh-Bedarfs, sowie der Kosten für die Tomatenpflanzlinge um ein Fünftel hätten hingegen nicht derart gravierende Folgen. Die LKD würde in besagten Fällen weiterhin positiv bleiben (siehe Tab. 17).

Tabelle 17: DB und LKD der Gemüseproduktion bei sich ändernden Input-Parametern

	Keine Änderung	Erzeugte Menge (-20 %)	Akh-Bedarf (+20 %)	Kosten Pflanzling (+20 %)
DB (€/Jahr)	4.332,81	2.995,23	4.050,23	4.289,95
DB (€/ kg Tomate)	2,83	2,41	2,65	2,80
DB (€/ m ² Anbaufl.)	173,31	118,21	162,01	171,60
LKD	586,08	-791,50	303,50	543,22

6.5 Fazit

Insgesamt gesehen zeigt die Rentabilitätsberechnung, dass der wirtschaftliche Betrieb einer Aquaponik-Anlage möglich ist. Mit dem Ergebnis der LKD von 586 € p.a. wurde nachgewiesen, dass sich die Anlage bei gegebenen Berechnungsparametern rentiert. Problematisch bei dieser Betrachtung sind aber die zum Teil großen Unsicherheiten bei verschiedenen Rechenwerten. So ergab die Sensitivitätsanalyse, dass durch die Abnahme der erzeugten Tomatenmenge oder der Besatzdichte der Fische um 20 % schon eine negative Wirtschaftlichkeit erreicht wird. Würden sich sogar mehrere dieser Parameter gleichzeitig und auf Dauer verschlechtern, so müsste man die Sinnhaftigkeit der geplanten Investition hinterfragen.

7 Zusammenfassung

An der Fachhochschule Südwestfalen, Standort Soest ist die Errichtung einer Aquaponik-Demonstrationsanlage im Rahmen eines Projekts der Studierenden des 1.Semesters im Masterstudiengang Agrarwirtschaft geplant. Aquaponik-Anlagen stellen eine Kombination aus einer Aquakultur-Einheit und einer Hydrokultur-Einheit dar. Das in der Fischzucht anfallende Prozesswasser wird für den Anbau von Hydrokulturen verwendet. Typische Hydrokulturen sind z.B. Salate, Gurken und eine Vielzahl anderer Gemüsesorten. In dem laufenden Projekt wurde die Züchtung von Tomaten geplant. Es gibt unterschiedliche Hydrokultursysteme. Für Hydrokulturen im Rahmen einer Aquaponik-Anlage eignen sich vor allem Nutrient Film Technique (N.F.T.) oder Ebb and flow. Diese Systeme zeichnen sich durch eine einfache Struktur und einem abgetrennten Bereich für die Nährlösung aus.

In der Aquakultur-Einheit können ebenfalls eine Vielzahl von Fischarten gezüchtet werden. Für die Aquaponik-Anlage am Standort Soest wurde jedoch zunächst der Afrikanische Wels ausgewählt. Der Afrikanische Wels ist ein Süßwasserfisch, der besonders robust und für Krankheiten wenig anfällig ist. Zudem kann er den Luftsauerstoff nutzen, sodass kein zusätzlicher Sauerstoff in das Becken zugesetzt werden muss. Hinsichtlich der Haltung ist eine hohe Besatzdichte von bis zu 450 kg/ m³ möglich und somit eine hohe Produktivität gewährleistet. Ein tierschutzrechtliches Problem stellt aus aktueller Sicht die Betäubung des Fisches vor der Schlachtung dar. Aus diesem Grund wurden auch alternative Fischarten wie z.B. der Europäische Wels diskutiert.

Die in der Aquakultur anfallenden Nährstoffmengen sind variabel und abhängig von der Futterzusammensetzung, der Fütterungsintensität, den Besatzdichten und der Verteilung der Fütterungsintervalle. Sehr hohe Nitratmengen treten entsprechend bei hohen Besatzdichten auf. Daher wird empfohlen, die Fischzucht an die Gesamtfläche der Hydrokulturen und den Bedarf der Pflanzen anzupassen. Berechnungen ergaben, dass bereits bei einer niedrigen Besatzdichte von 75 kg Fisch/ Becken, das jeweils ein Fassungsvolu-

men von 1,5 m³ hat, den Tomaten ein 2,19-fach höherer Nitratgehalt zur Verfügung steht, als sie eigentlich benötigen.

Aquaponik-Anlagen stellen ein nachhaltiges System dar. Dennoch sind diese Anlagen sehr energieintensiv. Vor allem die Beheizung der Aquakultureinheit im Winter kann hohe Kosten verursachen. Um diese Kosten zu senken, wurde z.B. der Einsatz von LED-Lampen zur Erhöhung des Pflanzenwachstums pro Zeitperiode diskutiert. Auch die Erhöhung der Energieeffizienz durch die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung oder Eigenstrom durch Photovoltaik-Anlagen kann Kosten minimieren. Allerdings eignen sich diese Konzepte nur bei größeren Anlagen.

Ein weiterer entscheidender Faktor hinsichtlich der Rentabilität der Anlage ist die Vermarktung der Fische sowie der Hydrokulturen. Der starke Anstieg der produzierten Menge an Afrikanischem Wels in Deutschland lässt darauf schließen, dass eine hohe Nachfrage besteht. Je nach Produktionsintensität ergeben sich verschiedene jährliche Absatzmengen. Die Absatzmengen in dem Projekt der Fachhochschule Südwestfalen variieren zwischen 360 kg bis 5670 kg Lebendgewicht Fisch jährlich. Da aufgrund fehlender Räumlichkeiten und fehlendem Personal keine betriebsinterne Schlachtung der Fische vorgenommen werden kann, müssen in Folge dessen die Fische lebend vermarktet werden. Hierfür wurden unterschiedliche Vermarktungsstrategien erörtert. Eine regionale Vermarktung der Fische wird bevorzugt und gewährleistet eine höhere Wertschöpfung.

Die abschließende Rentabilitätsberechnung zeigt, dass sich der Betrieb der geplanten Aquaponik-Anlage rentiert. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt jedoch auch, dass bereits bei einer Veränderung von Parametern wie z.B. eine Reduzierung der Besatzdichte um 20 % eine negative Wirtschaftlichkeit erreicht wird.

Literaturverzeichnis

- ASENDORPF, D. (2014): Deutschlandradio Kultur – Studio 9, Mecklenburg-Vorpommern Massenfischhaltung - eine saubere Sache? - Computereinsatz in der modernen Fischzucht, Beitrag vom 16.07.2014, 12:45 Uhr, http://www.deutschlandradiokultur.de/mecklenburg-vorpommern-massenfischhaltung-eine-saubere-sache.2165.de.html?dram:article_id=291943 (Abrufdatum 02.11.14)
- BAUER, C. (2014): Was ist Fischzucht in Warmwasserkreislaufanlagen? <http://www.baw-oeko.at/cms/images/daten/kla-info.pdf> (Abrufdatum 02.11.2014)
- BEDNAR, A. und BROWN, G. (2014): Basic Hydroponic Systems and How They Work, <http://www.simplyhydro.com/system.htm> (Abrufdatum 03.11.14)
- BERKA, R. (1986): The transport of live fish A review, <http://www.fao.org/docrep/009/af000e/af000e00.html> (Abrufdatum 21.12.2014)
- BINE (2014): Kraft und Wärme koppeln <http://www.bine.info/publikationen/basisenergie/publikation/kraft-und-waerme-koppeln/> (Abrufdatum 22.12.14)
- BOHL, M. (1991): Zucht und Produktion von Süßwasserfischen, DLG-Verlag
- DABBERT, S., BRAUN, J. (2006): Voraussetzungen: Ressourcen, Institutionen und Informationen, Landwirtschaftliche Betriebslehre, Grundwissen Bachelor, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 85-173
- DESTATIS (Statistisches Bundesamt) (2014): Land- & Forstwirtschaft, Fischerei <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Fischerei/Fischerei.html> (Abrufdatum 29.12.2014)

- DEUTSCHER FISCHEREI-VERBAND (2008): Arbeiten des Fischerei Verbandes,
Heft 86: Ressourcen schonende Fischproduktion,
http://www.deutscher-fischerei-verband.de/downloads/Heft_86.pdf;
PDF- Datei (Abrufdatum 10.11.2014)
- DIETZ, S. (2014): Anfrage zur Welsvermarktung, Fisch und Feinkost Dietz /
Inhaberin, persönliches Gespräch am 04.12.2014
- ECF FARMSYSTEMS (2014): ECF Farm
<http://www.ecf-farmsystems.com/ecf-farmen/> (Abrufdatum 29.12.2014)
- EDING, E.-H. und VAN WEERD, J.-H. (1999): Spezielle Aquakulturverfahren und
Aquakulturkanidaten, Zucht und Produktion von Süßwasserfischen,
Bohl M., DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt, S. 492-498
- EG-VO (2005): Verordnung (EG) Nr. 1/2005 des Rates vom 22. Dezember
2004 über den Schutz von Tieren beim Transport.
- ELIES, R. (2014): Anfrage zur Welsvermarktung, Fischgut Nord e.G. /
Vorstand, persönliches Gespräch am 11.11.2014
- FILETAS FISCHGUT EG & CO. VERTRIEBS OHG (2014): Produktübersicht.
<http://www.filetas.de/produktuebersicht/> (Abrufdatum 27.12.2014)
- FISCHARTENATLAS (2014):
http://www.fischartenatlas.de/cms2.0/images/phocagallery/Carassius_carassius_Karausche/thumbs/phoca_thumb_l_carassius_carassius_karausche_hollerland_bremen_14_11_08_copyright_heiko_brunken.jpg (Ab-
rufdatum 11.11.2014)
- FISCHGUT NORD EG (2014): Das Unternehmen <http://www.fischgut-nord.de/>
(Abrufdatum 20.12.2014)
- FISCHHOF BAUMÜLLER (2014): Wir über uns. <http://fischhof.de/wir.html>
(Abrufdatum 11.12.2014)

FISCHLEXIKON (2014): Fischlexikon der Süßwasserfische

a: Catlabarbe (*Gibelion catla*)

http://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/suesswasserfische.php?fisch_id=0000000340&tmp_familie=-1&tmp_name=1&tmp_groesse=0 (Abrufdatum 04.11.2014)

b: Flussbarsch (*Perca fluviatilis*)

http://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/suesswasserfische.php?fisch_id=0000000003&tmp_familie=-1&tmp_name=1&tmp_groesse=0 (Abrufdatum 04.11.2014)

c: Karpfen (Schuppenkarpfen) (*Cyprinus carpio* (2))

http://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/suesswasserfische.php?fisch_id=0000000029 (Abrufdatum 04.11.2014)

d: Coptodon rendalli (*Coptodon rendalli*)

http://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/suesswasserfische.php?fisch_id=0000000484 (Abrufdatum 06.11.2014)

e: Karausche (*Carassius carassius*)

http://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/suesswasserfische.php?fisch_id=0000000030 (Abrufdatum 11.11.2014)

f: Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idella*)

http://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/suesswasserfische.php?fisch_id=0000000027&tmp_familie=-1&tmp_name=1&tmp_groesse=0 (Abrufdatum 13.11.2014)

FISHBASE (2014):

a: *Catla catla*

<http://www.fishbase.org/Summary/speciesSummary.php?ID=4439&AT=Catlabarbe> (Abrufdatum 04.11.2014)

b: *Perca fluviatilis*

<http://www.fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?ID=358&AT=Flussbarsch> (Abrufdatum 04.11.2014)

c: *Cyprinus carpio*

<http://www.fishbase.org/Summary/speciesSummary.php?ID=1450&AT=karpfen> (Abrufdatum 04.11.2014)

d: Hypophthalmichthys molitrix

<http://www.fishbase.org/summary/Hypophthalmichthys-molitrix.html>

(Abrufdatum 10.11.2014)

GAYE-SIESSEGGER, J. (2009): Überblick über die wichtigsten rechtlichen Bestimmungen für Fischzüchter, AUF AUF 2/2009, 22-23

GE-DISTRIBUTEDPOWER (2014): Mehr Wachstum in Ihrem Gewächshaus mit Gasmotoren <https://www.ge-distributedpower.com/component/cck/?task=download> (Abrufdatum 22.12.14)

HOCHLEITHNER, M (2006): Welse (Siluridae): Biologie und Aquakultur, Aqua-Tech

KATHS, F. (2012): Technische und betriebswirtschaftliche Analyse von Konzepten zur ganzjährigen Nutzung der Abwärme einer Biogasanlage im dezentralen ländlichen Raum, Justus-Liebig-Universität Gießen, Dissertation August 2012

KLINKHARDT (2011): Dr. Manfred Klinkhardt, Aquakultur Jahrbuch 2010/2011; Fachpresse Verlag

KRAUS, G., HARRER, D., WEDEKIND, H. (2013): Praktische und rechtliche Aspekte beim Fischtransport, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

LMHV (2007): Verordnung über Anforderungen an die Hygiene beim Herstellen, Behandeln und Inverkehrbringen von Lebensmitteln (Lebensmittelhygiene-Verordnung)

LORLEBERG, W. (2014): Investitionskosten einer Aquaponikanlage, Fachhochschule Südwestfalen, pers. Gespräch am 16.12.2014

LUDWIG, F. (2012): Botanische Grundlagen der Baubotanik und deren Anwendung im Entwurf. Von der Fakultät für Architektur und Stadtplanung der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde einer Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung.

- MÜLLER, H. (2011): Zusatzlicht durch LEDs, Gemüse 12/2011, S. 10-16
- MÜNSTERMANN, M. (2014): Pflanzenbau in der Großstadt. Gemüse ohne Sonnenlicht. Internetseite des Tagesspiegel
<http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/pflanzenanbau-in-der-grossstadt-gemuese-ohne-sonnenlicht/10985398.html> (Abrufdatum 03.12.2014)
- MUßHOFF, O., HIRSCHAUER, N. (2011): Kontrolle und Analyse; Querschnittsaufgabe Risikomanagement, Modernes Agrarmanagement, Verlag Franz Vahlen, München, S. 61-138; 327-444
- NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) (2002): Regionale Produktion und Vermarktung - Ziele, Rahmenbedingungen, Forderungen -
<https://www.nabu.de/landwirtschaft/regionalvermarktung.pdf>
(Abrufdatum 29.12.2014)
- N.N. (2014):
- a: Hydroponics Growshop, <http://www.hydroponics.eu/nft-hydroponics-systems-s-32.html> (Abrufdatum 17.11.14)
 - b: Clarias gariepinus (Afrikanischer Raubwels)
<http://www.familie-hauffe.de/atlex/arten.asp?id=1849> (Abrufdatum 03.11.14)
 - c: Culinarion kombiniert Fischtheke mit Restaurant und Küchenshop
<http://www.fischmagazin.de/seafoodstar-seriennummer-53.html> (Abrufdatum 29.12.2014)
- OSRAM (2014): Hochdruckentladungslampen http://www.osram.de/osram_de/
(Abrufdatum 10.12.2014)
- PHILIPS (2014): The new fast-track to growth. Philips GreenPower LED top-lighting
- PLAG, R. (2014): Der U-Wert Rechner
<http://www.u-wert.net/berechnung/u-wert->

[rechner/?&bt=0&T_i=20&RH_i=50&T_e=-10&RH_e=80&outside=0](#)

(Abrufdatum 30.10.2014)

PROPLANTA - DAS INFORMATIONSZENTRUM FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT (2014):

Erste Aquakultur-Anlage für tropischen Speisefisch in Bayern eröffnet

<http://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/Tier/Erste-Aquakultur->

[Anlage-fuer-tropischen-Speisefisch-in-Bayern-](#)

[eroeffnet_article1404564078.html](#) (Abrufdatum 02.11.14)

REINTGES, T. (2014): Persönliches Gespräch zur Tomatendüngung in Substratkultur. Versuchszentrum Gartenbau, Hans Tenhaeff Straße 40-42, 47638 Straelen, Tel 02834/704140 (Telefonat und Email: 17.12.2014).

SCHOORL, R.-C. (1999): Produktion von afrikanischen Welsen in Kreislaufanlagen, Zucht und Produktion von Süßwasserfischen, Bohl M., DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt, S. 436-488

SENFBERG, S. (2012): Aquaponik – eine Übersicht

<http://www.senfborg.de/index.php/aquaponik-eine-ubersicht/>

(Abrufdatum 29.12.2014)

SPRINGER, P. (2012): LED – wie geht es weiter? Gartenbau profi 1/2012

http://www.gb-profi.de/rlverlag_dll?pageID=971 (Abrufdatum

03.12.2014)

SPRINGER, P. (2014): Es werde Licht. Artikel auf der Internetseite der Zeitschrift Gartenbau profi. http://www.gb-profi.de/rlverlag_dll?pageID=810

(Abrufdatum 03.12.2014)

TANTAU, H.-J. (2014): Ist LED-Beleuchtung wirtschaftlicher? Gemüse 01/2014, S. 10-14

TEICHCENTER (2014): [http://img.webme.com/pic/k/koi-](http://img.webme.com/pic/k/koi-teich/futterautomat_1.jpg)

[teich/futterautomat_1.jpg](#) (Abrufdatum 11.11.2014)

TEXIER, W. (2014): Hydroponic oder Die Kunst des Indoorgrowing,
www.eurohydro.com/pdf/articles/de_indoorgrowing.pdf (Abrufdatum
10.11.14)

TIERSCHLV (2012): Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang
mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der
Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates (Tierschutz-
Schlachtverordnung).

TILAPIA (2014): Tilapia in Aquaponik-Systemen
<http://www.tilapia.at/aquaponik-hydroponik/> (Abrufdatum 06.11.2014)

TSCHTRV (2009): Verordnung zum Schutz von Tieren beim Transport und
zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1/2005 des Rates
(Tierschutztransportverordnung)