



EIP Agri

„ReWali“ – Reduktion des Nährstoffeintrags in Gewässer sowie Produktion von Futtermittel durch Wasserlinsen

Projektlaufzeit

01.05.2022 bis 30.04.2025

(Aktenzeichen EIP-2022-12)

Abschlussbericht

Berichtszeitraum

01.05.2022 bis 30.04.2025

Operationelle Gruppe

Verbund Transformationsforschung agrar Niedersachsen (trafo:agrar)

Georg-August-Universität Göttingen

NOVAgreen Projektmanagement GmbH

Johann-Michael Claßen Gänsezucht

| Dokumentinformationen | |
|-----------------------|---|
| Titel | ReWali: Abschlussbericht |
| Autor*innen | Beata Punte (trafo:agrar) Dr. Barbara Grabkowsky (trafo:agrar) Prof. Dr. Jürgen Hummel (Universität Göttingen) Prof. Dr. Daniel Mörlein (Universität Göttingen) Prof. Dr. Jens Tetens (Universität Göttingen) Birthe Krone (Universität Göttingen) Annkathrin Niemann (Universität Göttingen) Eva Gregersen (Universität Göttingen) Claire Siebenmorgen (Universität Göttingen) Caroline Cordes (NOVAgreen) Johann-Michel Claßen (Gänsezucht) |



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Inhaltsverzeichnis | 1 |
| Abkürzungsverzeichnis | 3 |
| 1 Kurzdarstellung (in Alltagssprache) | 4 |
| 1.1 Ausgangssituation und Bedarf | 4 |
| 1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung (Titel des Projekts max. 150 Zeichen) | 4 |
| 1.3 Mitglieder der OG | 4 |
| 1.4 Projektgebiet..... | 4 |
| 1.5 Projektlaufzeit und Dauer | 4 |
| 1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen) | 4 |
| 1.7 Ablauf des Verfahrens..... | 5 |
| 1.8 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse (in Deutsch und Englisch) | 7 |
| 2 Eingehende Darstellung..... | 8 |
| 2.1 Verwendung der Zuwendung | 8 |
| 2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit einer OG | 8 |
| 2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen | 15 |
| 2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn..... | 15 |
| 2.2.1 Ausgangssituation | 15 |
| 2.2.2 Projektaufgabenstellung..... | 16 |
| 2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf | 17 |
| 2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. Beispiele wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?..... | 17 |
| 2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG? | 17 |
| 2.3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen? | 17 |
| 2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes | 18 |
| 2.4.1 Zielerreichung | 18 |
| 2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis | 19 |
| 2.4.3 Projektverlauf (evtl. Fotos) | 19 |
| 2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen..... | 20 |
| 2.4.5 Nebenergebnisse | 20 |
| 2.4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben..... | 22 |
| 2.4.7 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern | 22 |
| 2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis Sind verwertbare/nutzbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden? | 22 |
| 2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse..... | 22 |

| | | |
|-----|---|----|
| 2.7 | Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit Gibt es weitergehende (wissenschaftliche) Fragestellungen aus den Projektergebnissen, die zukünftig zu bearbeiten sind? | 23 |
| 2.8 | Kommunikations- und Disseminationskonzept: Darstellung in welcher Weise die Ergebnisse kommuniziert oder verbreitet wurden, ggf. mit Verweis auf Veröffentlichungen und Angabe der Quellen. Grundsätzliche Schlussfolgerungen (ggf. Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft) und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP AGRI. | 24 |
| 3 | Anhang..... | 25 |
| 3.1 | Fütterungsversuch Forellen | 26 |
| 3.2 | Fütterungsversuch Karpfen..... | 36 |
| 3.3 | Fütterungsversuch Gänse – Universität Göttingen..... | 46 |
| 3.4 | Fütterungsversuch Gänse – Hof Claßen..... | 51 |
| 3.5 | Wasserlinsen – Anlage DNTW Göttingen..... | 54 |
| 3.6 | Wasseranalysen – Anlage DNTW Göttingen..... | 61 |
| 3.7 | Silierversuch..... | 64 |
| 3.8 | Versuch zu Nährstoffentzug durch Wasserlinsen aus Prozesswasser | 67 |
| 3.9 | Versuch zu Tierwohleffekten von Wasserlinsen auf Tilapien | 72 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------|--|
| AKIS | Agrar-Wissens- und Innovationssystemen |
| Hof Claßen | Johann-Michel Claßen Gänsezucht |
| DNTW | Department für Nutztierwissenschaften |
| DVS | Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume (DVS) |
| EIP-Agri | Europäischen Innovationspartnerschaft „Produktivität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft“ |
| LUFA | Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nord-West |
| NOVAgreen | NOVAgreen Projektmanagement GmbH |
| OG | Operationelle Gruppe |
| RIS3 | Regional Innovation Strategy for Smart Specialisation |
| trafo:agrar | Koordinierungsstelle Verbund Transformationsforschung agrar Niedersachsen |
| WL | Wasserlinsen |

1 Kurzdarstellung (in Alltagssprache)

1.1 Ausgangssituation und Bedarf

In der Landwirtschaft fallen auf vielen Betrieben nährstoffbelastete Brauchwässer an, etwa aus der Tierhaltung oder Aquakultur. Diese Wässer dürfen aufgrund hoher Nitrat- und Phosphorgehalte nur eingeschränkt in Gewässer eingeleitet werden, was ökologische und regulatorische Herausforderungen mit sich bringt. Gleichzeitig wächst der Bedarf an regional produzierten, nachhaltigen Futtermitteln als Alternative zu Importen. Bisher fehlen jedoch praxistaugliche Konzepte, die eine effiziente Nährstoffbindung mit einer wirtschaftlich sinnvollen Verwertung – etwa als Tierfutter – verbinden.

1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung (Titel des Projekts max. 150 Zeichen)

Reduktion des Nährstoffeintrages in Gewässer sowie Produktion von Futtermittel durch Wasserlinsen (ReWali)

1.3 Mitglieder der OG

| | |
|-----------------------|---|
| Koordinator: | Wissenschaftliche Koordinierungsstelle Verbund Transformationsforschung agrar Niedersachsen |
| OG-Mitglied 1: | Georg-August-Universität Göttingen |
| OG-Mitglied 2: | NOVAgreen Projektmanagement GmbH |
| OG-Mitglied 3: | Johann-Michel Claßen Gänsezucht |
| OG-Mitglied 4: | Wissenschaftliche Koordinierungsstelle Verbund Transformationsforschung agrar Niedersachsen |

1.4 Projektgebiet

Das Projektgebiet erstreckte sich über die Region Vechta in Niedersachsen. Hier befanden sich insbesondere die Gewächshausanlagen der NOVAgreen Projektmanagement GmbH an den Standorten Vechta-Langförden und Großenkneten, in denen WL kultiviert wurden. Zudem lag der zweite landwirtschaftliche Praxispartner, die Gänsezucht von Johann-Michel Claßen, in unmittelbarer Nähe im Ort Bakum.

Für die wissenschaftliche Begleitung des Projekts wurde die Universität Göttingen mit dem Department für Nutztierwissenschaften eingebunden. Dort wurden ergänzend WL in Gewächshäusern unter kontrollierten Bedingungen gezüchtet. Als Substrat kam das nährstoffreiche Abwasser einer Aquakulturanlage zum Einsatz, wodurch eine ressourceneffiziente Nutzung ermöglicht wurde. Darüber hinaus fanden hier Fütterungsversuche mit Forellen, Karpfen und Gänsen statt, um das Potenzial der WL als Futtermittelkomponente zu evaluieren.

1.5 Projektlaufzeit und Dauer

36 Monate (01.05.2022 - 30.04.2025) + 1,5 Monate kostenneutrale Verlängerung (01.05.2025 - 15.06.2025)

1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)

| | |
|-----------------------|-----------|
| Gesamtvolumen: | 484.324 € |
|-----------------------|-----------|

Die Universität Göttingen stellte zusätzlich personelle Eigenmittel zur Verfügung.

1.7 Ablauf des Verfahrens

Fütterungsversuch mit Forellen

1. **Planung und Genehmigung**
 - Versuch wurde an der Universität Göttingen von Juni bis Oktober 2023 durchgeführt.
 - Genehmigung durch das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) unter der Kennziffer 33.9-42502-04-22-00064.
2. **Versuchsdesign und Vorbereitung**
 - Insgesamt 240 Regenbogenforellen, aufgeteilt auf 4 Fütterungsgruppen (K, WL10, WL15, WL20), je Gruppe 3 Wiederholungen à 20 Fische.
 - Haltung in einer geschlossenen Kreislaufanlage mit mechanischer und biologischer Wasseraufbereitung.
 - Futterrationen enthielten 0 %, 10 %, 15 % bzw. 20 % Wasserlinsenmehl (WL) als Ersatz für Fischmehl.
3. **Fütterung**
 - Handfütterung einmal täglich, beginnend mit 1 % der Lebendmasse, steigend bis 1,5 %.
 - Akzeptanz und vollständige Aufnahme wurden täglich kontrolliert.
4. **Messungen während des Versuchs**
 - Erste Wiegungen nach 1 und 2 Wochen, danach alle 2 Wochen.
 - Bestimmung von Schnittgewicht, Körperlänge und Filetgewicht.
5. **Ende des Versuchs – Schlachtung**
 - Nach 15 Wochen erfolgte tierschutzgerechte Schlachtung.
 - Betäubung durch Kopfschlag, Tötung durch Kiemenschnitt.
 - Vermessung, Farbwertbestimmung der Haut, Filetierung, Einlagerung für Analysen.
6. **Analysen**
 - **Inhaltsstoffe:** Trockenmasse, Rohprotein, Rohfett, Rohasche, Fettsäurezusammensetzung.
 - **Fleischqualität:** pH-Wert-Messung, Kochverlust, Scheranalyse (Textur).
 - **Sensorik:** Quantitative deskriptive Analyse (QDA) durch geschultes Panel.
7. **Ergebnisse & Auswertung**
 - Wachstumsparameter, Verwertungseffizienz (FCR), Filetqualität, sensorische Unterschiede.
 - Auffällige Trends bei Farbe, Textur und Geschmack in Abhängigkeit vom WL-Anteil.
8. **Weitere Schritte**
 - Wissenschaftliche Veröffentlichung, Präsentation auf Tagungen, Verwendung für Dissertation.
 - Weitere Forschung zur Verdaulichkeit von WL und Konsumentenakzeptanz geplant.

Fütterungsversuch mit Karpfen

1. **Planung und Genehmigung**
 - Zeitraum: Januar bis April 2024 (14 Wochen).
 - Durchführung an der Georg-August-Universität Göttingen.
 - Genehmigung ebenfalls unter der Kennziffer 33.9-42502-04-22-00064 durch LAVES.
2. **Versuchsaufbau**
 - 240 Karpfen (*Cyprinus carpio*), aufgeteilt in 4 Gruppen (K, WL10, WL15, WL20) à 3 Wiederholungen mit je 20 Fischen.
 - Haltung in derselben rezirkulierenden Aquakulturanlage wie bei den Forellen.
 - Karpfen: Omnivor, daher andere Anforderungen an das Futter.
3. **Fütterung**
 - Futtermengen angepasst von 1,5 % auf 2,5 % der Lebendmasse pro Tag.
 - Tägliche Gabe per Hand und Automat.
 - Futter enthielt steigende Mengen Wasserlinsenmehl (0 %, 10 %, 15 %, 20 %), ersetzt teilweise Fischmehl und Sojaprotein.

4. Verlauf & Messungen

- Wiegen: wöchentlich in den ersten zwei Wochen, danach alle zwei Wochen.
- Futteraufnahme und Wachstum dokumentiert.

5. Schlachtung & Probenentnahme

- Schlachtung an drei Tagen, je nach Analyseziel: Inhaltsstoffe, Fleischqualität, Sensorik.
- Standardisierte Verarbeitung (wie bei Forellen): Betäubung, Tötung, Filetierung, Einlagerung.

6. Analysen

- **Inhaltsstoffe:** Rohprotein, Fett, Asche, Trockensubstanz, Aminosäuren, Fettsäuren (FAME).
- **Fleischqualität:** Scherkraft, Kochverlust, pH-Absenkung.
- **Sensorik:** Verkostung als Karpfenbällchen mit QDA durch geschultes Panel.

7. Besonderheiten

- Herstellung der Bällchen zur besseren Vergleichbarkeit (Grätenproblematik).
- 16 sensorische Attribute bewertet (z. B. fischig, umami, erdig, nussig).

8. Ergebnisse & Ausblick

- Leistungseinbußen bei höheren WL-Anteilen, aber weniger stark als bei Forellen.
- Positive Tendenzen bei Proteinwerten, aber auch Veränderungen im Geschmack.
- Weiterer Forschungsbedarf zur Verdaulichkeit und Verbraucherakzeptanz.

Fütterungsversuch Gänse - Universität Göttingen

1. Ziel

- Präferenztest: Wird Wasserlinsenfutter von Gänsen akzeptiert im Vergleich zu Luzerne, Gras und Mais?

2. Versuchsdesign

- 18 Gänseküken (Eintagsküken) aufgezogen, dann 6 Gruppen mit je 3 Tieren.
- Haltungsbedingungen: Volieren mit Wasserbecken, Futtertrögen, Beschäftigungsmaterial.
- Eingewöhnung durch gezieltes Stressmanagement.

3. Durchführung

- Drei Wahlversuche:
 1. **50:50 Volumenmischung** – Vorversuch.
 2. **30:70 Gewichtsverhältnis** – gemahlene Komponenten.
 3. **30:70 Gewicht** – Wasserlinsen ungemahlen.
- Futtertröge wurden nach 3 und 6 Stunden rückgewogen.

4. Analysen

- Nährstoffanalyse der Mischungen.
- Erfassung der aufgenommenen Trockenmasse.

5. Ergebnisse

- WL wurde in Kombination mit anderen Futtermitteln am wenigsten bevorzugt.
- Maismischung wurde deutlich am meisten konsumiert.

Fütterungsversuch Gänse - Hof Claßen

1. Ziel

- Prüfung der Futteraufnahme und Akzeptanz von frischer Wasserlinse im Praxisbetrieb.

2. Versuchsaufbau

- 15 Gänse, aufgeteilt in 3 Gruppen à 5 Tiere:
 - Gruppe 1: Kontrollfutter.
 - Gruppe 2: 20 % WL (Frischmasse).
 - Gruppe 3: 33 % WL (Frischmasse).

3. Durchführung

- Futterrationen wurden täglich frisch gewogen und Rückwägungen durchgeführt.
- Dauer: 7 Wochen.

4. Ergebnisse

- Kontrolle hatte die höchste Futteraufnahme (Trockenmasse).
- WL-Gruppen nahmen weniger Trockenmasse auf, obwohl die Frischmasse höher war.
- Fleisch wurde zur sensorischen Untersuchung an die Universität Göttingen geschickt.

1.8 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse (in Deutsch und Englisch)

Im Projekt „ReWali“ sollte ein innovatives Verfahren entwickelt werden, um Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in Gewässer zu reduzieren und gleichzeitig ein heimisch produziertes, proteinreiches Futtermittel bereitzustellen. Aufgrund der Vogelgrippe-Risiken und rechtlicher Einschränkungen erfolgte die Wasserlinsenzucht in Vechta mit Brunnenwasser und in Göttingen mit wenig belastetem Aquakultur-Wasser, das durch Nährstoffbeigaben z.B. Eisen gelegentlich ergänzt werden musste. Die geerntete Biomasse wurde schließlich als Futter für Fische (getrocknet) und Gänse (nass) getestet.

Untersucht wurden zudem Nährstoffgehalt und Akzeptanz der WL sowie deren Einfluss auf Leistungsparameter und Fleischqualität. Die Fütterungsversuche mit Forellen und Karpfen zeigten eine gute Akzeptanz und Verträglichkeit, jedoch leichte Leistungseinbußen – stärker bei Forellen. Die WL beeinflussten die Farbe, Zusammensetzung der Inhaltsstoffe und sensorische Eigenschaften der Fischfilets, nicht aber die gemessenen physikalischen Fleischqualitätsparameter. Die WL wiesen einen hohen Rohproteingehalt auf, der saisonal schwankte. Zusätzlich wurden Konservierungsmethoden (z. B. Silierung) zur Verbesserung der Lagerfähigkeit der WL erprobt.

Die Ergebnisse bestätigen, dass sich in Deutschland WL grundsätzlich aber aktuell jedoch noch nicht als wirtschaftlich tragfähiges Futtermittel bei Fischen eignen, um sich erfolgreich in lokale Nährstoff- und Betriebskreisläufe integrieren zu lassen.

Das Projekt stärkte die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Forschung, Praxis und Unternehmen im Sinne der RIS3-Strategie und der EIP-Ziele.

The 'ReWali' project aimed to develop an innovative process to reduce nutrient inputs from agriculture into bodies of water and at the same time provide a domestic, protein-rich feedstuff. Due to bird flu risks and legal restrictions, duckweed was cultivated in Vechta using well water and in Göttingen using aquaponics water with low levels of contamination, which had to be supplemented with nutrients such as iron. The harvested biomass was then tested as feed for fish (dried) and geese (wet).

The nutritional content, digestibility and acceptance of duckweed and its influence on animal health and meat quality were also analysed. The feeding trials with trout and carp showed good acceptance and digestibility, but slight losses in performance - more so with trout. The duckweed influenced the colour, ingredients and sensory properties of the fish fillets, but not the observed physical meat quality parameters. The duckweed had a high crude protein content, which fluctuated seasonally. In addition, preservation methods (e.g. ensiling) were trialled to improve the shelf life of the duckweed.

The results confirm that, in Germany, duckweed is suitable in principle but not yet as an economically viable feedstuff for fish for successful integration into local nutrient and farm cycles.

The project strengthened interdisciplinary cooperation between research, practice and companies in line with the RIS3 strategy and the EIP objectives.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit einer OG

| AP 1: Projektkoordination | |
|----------------------------------|--|
| Beteiligte: | Koordinator |
| Zeitraum: | Gesamte Projektlaufzeit |
| Planung: | Die Koordinierung der Versuche im Projekt, der Austausch und die aktive Zusammenarbeit aller Akteure in der OG wird durch die Koordinierungsstelle Transformationsforschung agrar Niedersachsen realisiert. |
| Durchführung: | <p>Projektstart:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 09.05.2023: Projektvorstellung in Hannover. • 10.05.2023: Kick-Off-Veranstaltung bei NOVAgreen in Vechta mit Betriebsrundgang sowie Einführung in Projektaufgaben und administrative Pflichten. <p>Regelmäßige Treffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seit Mai 2023: Monatliche Online-Meetings aller OG-Mitglieder zur internen Abstimmung und Fortschrittskontrolle. • August 2024: Präsenztreffen der gesamten OG (anstelle des ursprünglich geplanten Workshops) zur intensiven Diskussion und Planung der verbleibenden Projektaktivitäten: <ul style="list-style-type: none"> • Gänsefütterung mit WL • Wasserlinsenanbau auf Schlabbergülle • Wasser- und Futtermittelanalysen • Experimentelle Silierung zur Verbesserung der Lagerfähigkeit <p>Aktivitäten durch trafo:agrar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Koordination der Zusammenarbeit innerhalb der OG. • Durchführung bi- und trilateraler Gespräche. • Organisation, Moderation und Protokollierung der Online-Treffen. • Durchführung von Zwischenevaluationen mit Partnerbetrieben (DVS-Fragebogen). • Zusammenführung von Finanzberichten, Stundennachweisen und Zwischenberichten. • Bearbeitung von Anmerkungen zu Auszahlungsanträgen. • Beantragung von Mittelumwidmungen, Änderungen in Arbeitspaketen sowie einer kostenneutralen Projektverlängerung. <p>Personaländerungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Juni 2023: Projektkoordination und OG-Mitglied 4 wechselt von Dr. Linda Armbrecht zu Beata Punte (trafo:agrar/Universität Vechta). • Januar 2024: Wissenschaftliche Mitarbeiterin Eva Gregersen (Mutterschutz/Elternzeit) geht in Mutterschutz/Elternzeit und wurde durch Birthe Krone vertreten (Universität Göttingen). • Juli 2024: Geschäftsführer Rudolf Cordes verstorben (NOVAgreen) • November 2024: Annkathrin Niemann ergänzt nach Umwidmung von Personalmitteln das Projektteam zur Betreuung der Akzeptanzversuche bei der Gänsefütterung mit WL. |

| AP 2: Vorversuche Biomasseproduktion – in vitro | |
|--|--|
| Beteiligte: | OG-Mitglieder 2 (leitend) und 1 |
| Zeitraum: | Projektmonate 1 bis 12 |
| Planung: | <ul style="list-style-type: none"> – Die Nährstoffgehalte des „Schlabberwassers“ werden ermittelt (N-ges., Nitrat-N, Ammonium-N, P-ges) (Universität Göttingen). – Versuche zur Biomasseproduktion bei entsprechenden Nährstoffgehalten und erweiterten Szenarios im Labor von NOVAgreen werden durchgeführt. Diese beinhalten u. a. auch Versuche mit verschiedenen Temperaturen, Lichtverhältnissen, Umtriebszeiten etc. – Ermittlung der optimalen Wachstumsbedingungen bei verschiedenen Wasserlinsen-Arten (heimische oder nordeuropäische Lemna-Arten selektieren auf Reinkulturen). – Ermittlung der Nährstoffaufnahmekapazität der WL sowie systematisches Testen der WL zur Reinigung von Wasser/Abwasser (N, P Reduktionspotenzial). – Ermittlung der optimalen Nährstoffversorgung. – Entwicklung der „Starterkultur“ für die Außenflächen durch NOVAgreen. |
| Durchführung: | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nährstoffgehalte des Schlabberwassers wurden ermittelt <ul style="list-style-type: none"> • Probenentnahme am Hof Claßen in mehreren Ställen • Proben sachgerecht gemischt, konserviert und an Labor übergeben • Analyseparameter wie N-ges., Nitrat-N, Ammonium-N, P-ges sind implizit abgedeckt ✓ Versuche zur Biomasseproduktion bei NOVAgreen mit erweiterten Szenarien durchgeführt <ul style="list-style-type: none"> • Test verschiedener Temperaturen (z. B. 25 °C) • Lichtverhältnisse: 18/6h Tag-Nacht-Zyklus • Versuche mit und ohne Wasserbewegung • Tests zu Algenkonkurrenz und Einfluss von Umtriebszeiten • Nutzung definierter Düngung (Agrolution Special 324) und Messung von pH, Nitrat, Nitrit ✓ Optimale Wachstumsbedingungen verschiedener Wasserlinsenarten ermittelt <ul style="list-style-type: none"> • Spirodela polyrhiza und Lemna minor selektiert und getestet • Lemna minor: hohe Temperaturtoleranz (17–26 °C), Verdopplung alle ~3 Tage • Spirodela polyrhiza: schnelleres Wachstum bei 25 °C, Verdopplung alle ~1,5 Tage ✓ Nährstoffaufnahmekapazität systematisch getestet <ul style="list-style-type: none"> • 7-tägiger Versuch der Universität Göttingen mit Aquakultur-Abwasser • Ergebnisse fließen in eine Bachelorarbeit ein • Langzeitbegleitung mit Waagen, Photometern und Wasseranalysen vorbereitet ✓ Optimale Nährstoffversorgung erprobt <ul style="list-style-type: none"> • Startdüngung mit 0,5 g/l Agrolution • Erfolgreiche Kulturstarts bei pH 6,6–7 und 250–500 mg/l Nitrat • Kein Nachdüngen nötig nach 2 Wochen ✓ Entwicklung einer Starterkultur durch NOVAgreen begonnen <ul style="list-style-type: none"> • Erste Testkulturen mit geeigneten Arten etabliert • Ziel: Übertragbarkeit auf Außenflächen |

| AP 3: „Anbauversuch“ der Wasserlinsen – in vivo | |
|--|---|
| Beteiligte: | OG-Mitglieder 2 (leitend) und 3 |
| Zeitraum: | Projektmonate 9 bis 21 |
| Planung: | <ul style="list-style-type: none"> – Ein kleinskaliger Vorversuch wird unter Außenbedingungen bei dem Gänsezuchtbetrieb durchgeführt. – Mit diesem Vorversuch wird auf quantitativer Basis die Biomasseproduktion (Ertragserfassung) analysiert. – Aufbau des Produktionssystems (z. B. „Hydrozyklon-System“) auf dem Hof Claßen. – Entwicklung eines einfachen Erntesystems für die WL aus dem Hydrozyklon (Einsatz von Sieben zur selektiven Ernte der „großen“ Linsen, Rückführung der kleinen Linsen in das System zum weiteren Wachsen und Erhalt der Kultur). |
| Durchführung: | <p>✓ Vorversuche und Probenahme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schlabberwasser für verschiedene Untersuchungen entnommen -> Analyse bei der LUFA Nord-West • Gülleversuch beim Hof Claßen: Anzucht mit verschiedenen Güllekonzentrationen in IBC-Tanks; nur stark verdünnte Varianten erfolgreich • Keine Nutzung güllegezogener WL als Futtermittel aus rechtlichen Gründen (Biosicherheit) <p>✓ Aufbau des Produktionssystems</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hydrozyklon-System konnte auf dem Hof Claßen nicht installiert werden (Vogelgrippe-Prävention, bauliche Einschränkungen) • Produktion auf Claßen-Hof entfällt vollständig, Fokus auf NOVAgreen und Göttingen <p>✓ Anbau NOVAgreen GmbH</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wasserlinsenbecken in Gewächshäusern in Vechta-Langförden und Großenkneten-Ahlhorn installiert • Start der Produktion: Mai 2023 • Erste Lieferung von Trockenmasse an Göttingen im August 2023 für Fütterungsversuche erfolgt <p>✓ Anbau Universität Göttingen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entgegen der ursprünglichen Planung entstand eine weitere Wasserlinsenproduktion an der Universität Göttingen mit 6 Becken und 14 m² im Kaskadenprinzip, die an die benachbarte Aquakulturanlage angeschlossen ist und in 2023 und 2024 jeweils von Mai bis November WL produzierte • Start der Produktion: April 2023 • Laufende Wasseranalytik (Nährstoffe & pH) und Dokumentation der Erntemengen • Trocknung: an der Luft (Siebböden), bei Bedarf Nachbehandlung im Trockenschrank • Zerkleinerung und Lagerung: nach Trocknung zur Verbesserung der Lagerfähigkeit <p>✓ Erkenntnisse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anfangswachstum gut, später Wachstumsstopp durch Eisenmangel und Fadenalgen -> Düngung mit 1 g EDTA-gebundenem Eisen täglich führte zu Wachstumserholung • Manuelle Ernte- und Trocknung arbeitsintensiver als erwartet • Saisonale Abhängigkeit: kein Anbau außerhalb Wachstumsperiode ohne Beheizung möglich -> Zukauf von WL und Projektanpassung bei Gänsefütterung (weniger Tiere, reduzierte Futtermenge) |

| AP 4: Ermittlung und Bewertung der Futterqualität | |
|--|--|
| Beteiligte: | OG-Mitglied 1 |
| Zeitraum: | Projektmonate 3 bis 30 |
| Planung: | WL aus dem Vorversuch und aus dem Labor werden zu Untersuchungen zur Futtermittelbewertung durch chemische Analyse der Wasserlinsen-Zusammensetzung (relevante Parameter u.a. Protein, Fett, TM, Aminosäurezusammensetzung, Fettsäurenmuster) herangezogen. |
| Durchführung: | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Analysen der getrockneten Wasserlinsenproben an der Universität Göttingen <ul style="list-style-type: none"> • Durchführung umfangreicher chemischer Analysen an getrockneten Wasserlinsenproben aus den Produktionssystemen von NOVAgreen und Göttingen • WL aus den Produktionsstandorten NOVAgreen und Göttingen • 50 Weender Analysen zur Ermittlung der Parameter Rohprotein, Rohfett, Rohasche, Rohfaser, NDF, ADF, ADL, Stärke, Zucker, Phosphor und Calcium • 10 Analysen zur Ermittlung der Aminosäuren- und Fettsäuremuster ✓ Produktionsengpässe und Ergänzung durch Zukauf <ul style="list-style-type: none"> • Wasserlinsenproduktion lieferte im Frühjahr 2023 witterungsbedingt (geringer Sonneneinstrahlung und niedrige Wassertemperaturen) nicht ausreichend Ertrag an einem einzelnen Standort, um Versuchsfuttermitteln termingerecht herstellen zu lassen -> einmaliger Zukauf von WL aus externer Quelle • auch durch einmaligen Zukauf – bezogen, gemeinsam vermahlen und im finalen Mischverhältnis analysiert. • Gekaufte und selbst produzierte WL wurden gemeinsam vermahlen und im endgültigen Mischverhältnis analysiert ✓ Begleituntersuchungen <ul style="list-style-type: none"> • Monatliche Weender Analyse der WL aus Göttingen <ul style="list-style-type: none"> • 2023: Juni bis November • 2024: Mai bis November • Rohnährstoff- und Aminosäureanalysen der Forellenfuttermittel und der Ausgangsstoffe für Karpfendiäten |

| AP 5: Fütterungsversuche zur Ermittlung von Akzeptanz und Verwertung im Tier | |
|---|--|
| Beteiligte: | OG-Mitglieder 1 (leitend) und 3 |
| Zeitraum: | Projektmonate 7 bis 24 |
| Planung: | <ul style="list-style-type: none"> – Aus den Analysen zur Futterqualität werden Rationsberechnungen abgeleitet und Testfuttermittel formuliert. – Erste Ansatzversuche mit kleinen Karpfen (in GÖ), d.h. Akzeptanz- bzw. Wachstumsversuche in Becken mit dem Ziel, die mögliche Einsatzmenge von WL in der Ration zu testen, werden durchgeführt (3 verschiedene Lemna-Gehalte in der Ration + Standarddiät.). – Erste Ansatzversuche mit z.B. Portionsforelle, d.h. Akzeptanz- bzw. Wachstumsversuche in Becken in GÖ, um verschiedene Lemna-Gehalte in der Ration zu testen, werden ebenfalls durchgeführt (3 verschiedene Lemna-Gehalte in der Ration + Standarddiät.). – Ansatzversuche bei Gänsen (5 Zulagestufen bzw. Futtermischungen) mit variierenden Lemna-Gehalten im Futtermittel werden bei Hof Claßen und an der Universität Göttingen durchgeführt und analysiert. – Die Verdaulichkeit des Futters wird für Fische und Gänse ermittelt. – Fütterungsversuche Fische: Die Fischgesundheit und der Ertrag werden analysiert. |

| | |
|---------------|--|
| | – Fütterungsversuche Gänse: Die Akzeptanz, die Tageszunahmen und die Tiergesundheit werden ermittelt. |
| Durchführung: | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Vorbereitung Gänseversuche (Hof Claßen, 2022) <ul style="list-style-type: none"> • Erstellung erster Futterrezepturen für verschiedene Altersstufen • Abschätzung benötigter Mengen an WL (getrocknet & siliert) • Diskussion möglicher Engpässe im Projektteam ✓ Forellenfütterungsversuch (Universität Göttingen, 2023) <ul style="list-style-type: none"> • Ansatzversuch mit 4 Gruppen (0 %, 10 %, 15 %, 20 % Wasserlinsenanteil) • Start: Juni 2023, Schlachtung & Analyse: Okt. 2023 • Regelmäßige Biomassemessungen, Laufzeit: 15 Wochen • Nährstoffe, Fleischqualität, Sensorik (letztere im Feb. 2024) • Ergebnisse: Datenerhebung zu Wachstum, Filetqualität, pH-Werten, Farbe ✓ Karpfenfütterungsversuch (Universität Göttingen, 2023–2024) <ul style="list-style-type: none"> • Vorbereitung & Futterproduktion: Sept./Okt. 2023 (Amandus Kahl) • Ansatzversuch mit Einsatzmengen von 10 %, 15 %, und 20 % WL in den Rationen • Start: Okt. 2023, Schlachtung & Analyse: April 2024 • Analysen wie beim Forellenversuch, Sensorik abgeschlossen (Mai/Juni 2024) • Besonderheit: Messung der Hautfarbe auch am Bauch ✓ Gänse-Wahlversuch (Universität Göttingen, 2024) <ul style="list-style-type: none"> • Ansatzversuch bei den Gänsen konnte aufgrund der geringen Mengen an vorhandenen WL nicht durchgeführt werden. Daher wurde ein Wahlversuch mit Gänsen durchgeführt, um die Akzeptanz von WL bei den Tieren zu testen. • Start: Juli 2024 mit 18 Gänseküken • Akzeptanzprüfung von WL im Vergleich zu anderen Raufuttern • Durchführung von Fütterungspaarungen mit gemischten Rationen über mehrere Tage • Auswertung der Futteraufnahme und Analysen ✓ Fütterungsversuch mit Gänsen (Hof Claßen, Herbst 2024) <ul style="list-style-type: none"> • Start: September 2024, 3 Gruppen à 5 Tiere • Frische, gefrorene WL vs. Kontrollfutter • Anpassung wurde nötig wegen zu hoher Wassermenge im Futter • Schlachtung: Nov. 2024, Proben an Universität Göttingen zur weiteren Auswertung |

| AP 6: Versuche zur Lagerfähigkeit („Trocknen“, Pressen, Silieren) | |
|--|---|
| Beteiligte: | OG-Mitglied 1 |
| Zeitraum: | Projektmonate 21 bis 36 |
| Planung: | <ul style="list-style-type: none"> – Die Möglichkeit zu einer technischen Weiterverarbeitung bzw. Konservierungsmethode wird erarbeitet um die Futterverfügbarkeit unabhängiger von saisonalen Wachstumsspitzen zu machen – Hier soll die Reduzierung des Wassergehalts (z.B. Pressen: Nährstoffverluste in Presswasser?) sowie Möglichkeiten der Konservierung durch Silieren erforscht werden (Minisilountersuchungen) – Die optimale Darreichungsform als Silage oder z.B. Pellets wird ermittelt |
| Durchführung: | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Vorbereitung und erste Tests <ul style="list-style-type: none"> • Erste Silierversuche mit verschiedenen Behältern (Weckgläser, PVC-Rohre, Vakuumbbeutel) -> Vakuumbbeutel erwiesen sich als beste Methode ✓ Optimierung des Trockenmassegehalts <ul style="list-style-type: none"> • Anfangs häufig Fehlgärungen durch unklare TS-Werte |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Gute Silierergebnisse bei 20–37 % TS • Einsatz von Siliermitteln zeigte zufriedenstellende Ergebnisse • Proben eingefroren für spätere Analysen (pH, Gärsäuren) <p>✓ Geplante Versuche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geplanter systematischer Versuch 2023 scheiterte wegen Lieferproblemen • Neuer Anlauf war für Juli/August 2024 vorgesehen • Gemeinsame Großversuche mit NOVAgreen und Hof Claßen überlegt <p>✓ Einsilierungen im Herbst 2024</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8 kg Frischmasse von NOVAgreen verarbeitet, TS-Gehalt durch Hafer/Trockenschnitzel erhöht • Parallelversuch mit vorgetrocknetem Material und Siliermittel • Alle Proben in Vierfachbestimmung, Lagerung für 90 Tage, Analysen ab Februar 2024 |
|--|---|

| AP 7: Pilotversuch: Integration des Anbauverfahrens in den laufenden Betrieb | |
|---|--|
| Beteiligte: | Koordinator (leitend), OG-Mitglieder 2, 3 und 4 |
| Zeitraum: | Projektmonate 21 bis 36 |
| Planung: | <ul style="list-style-type: none"> – Der Anbau der Wasserlinse erfolgt in dem Becken des Hydrozyklons über mindestens eine Vegetationsperiode. Dazu sollen dann Auswirkungen von Temperatur, Nährstoffgehalt, Wind auf die Produktion der WL analysiert werden. – Der Biomasse-Ertrag aus der Produktion wird ermittelt. – Fütterungstechniken für die Wasserlinse als Futtermittel für die Gänse und Fische werden entwickelt. – Fütterung der Gänse erfolgt aus den vor Ort produzierten Linsen: Ermittlung der möglichen Produktionsmenge und Integration in Futtermittelration (Hof Claßen, Universität Göttingen) – Futterproduktion für Fische im AP 8 |
| Durchführung: | <p>✓ Anbau der Wasserlinse im Hydrozyklon-Becken und Ermittlung des Biomasseertrags</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hydrozyklon-System konnte auf dem Hof Claßen wegen Vogelgrippe-Prävention und baulichen Einschränkungen nicht installiert werden. • Deshalb kein Anbau von WL am vorgesehenen Standort und kein Einsatz hofeigener WL in der Gänsefütterung möglich. • Biomasseerträge und Analysen erfolgten stattdessen bei NOVAgreen und der Universität Göttingen (z. B. für Fütterungsversuche und Lagerfähigkeitsuntersuchungen). <p>✓ Entwicklung von Fütterungstechniken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für Fische (Forelle, Karpfen): Erfolgreiche Fütterungsversuche mit verschiedenen Wasserlinsen-Zulagen; Pellet-Rezepturen wurden entwickelt und angepasst. • Für Gänse: Wahlversuche an der Universität Göttingen mit getrockneten WL sowie Fütterungsversuche auf dem Hof Claßen mit frischen WL von NOVAgreen durchgeführt. • Erste Erkenntnisse zur Akzeptanz und möglichen Fütterungsformen wurden gewonnen. <p>✓ Futterproduktion für Fische</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forellen- und Karpfenfutter mit unterschiedlichen Wasserlinsenanteilen wurden in Zusammenarbeit mit Amandus Kahl hergestellt. |

| AP 8: Fleischqualität, Sensorik, Konsumentenakzeptanz | |
|--|---|
| Beteiligte: | OG-Mitglied 1 |
| Zeitraum: | Projektmonate 18 bis 36 |
| Planung: | <ul style="list-style-type: none"> – Die Auswirkung der Fütterung auf Fleischqualität von Fisch und Gänsen wird untersucht. – Chemisch-physikalische Analysen (z.B. Farbe, pH, Wasserhaltekapazität bzw. Lagerverlust, Scherkraft, Kochverlust, Rohnnährstoffgehalt, Fettsäuremuster im Fleisch) werden durchgeführt. – Deskriptive sensorische Analysen zur objektiven Bewertung mit einem trainierten Prüferpanel (Aussehen, Aroma, Textur) finden statt. – Eine Studie zur sensorischen Konsumentenakzeptanz von Gänsefleisch und Fischfilets (aus AP 5) unter blind- bzw. informierten Bedingungen, um auch die Vermarktungsfähigkeit zu beleuchten, wird erstellt. |
| Durchführung: | <ul style="list-style-type: none"> • Chemisch-physikalische Analysen wurden Februar 2024 Forellen bzw. Ende Mai/Anfang Juni 2024 bei Karpfen vollständig durchgeführt • Ein trainiertes Prüferpanel von 10 Personen hat die Fischproben deskriptiv sensorisch analysiert (QDA) • Konsumententests konnten u.a. aufgrund der geringen Menge an Fischfilet nicht durchgeführt werden • Ein vollständiger Gänsefütterungsversuch mit Tötung zu wissenschaftlichen Zwecken wurde nicht durchgeführt, damit waren Analysen der Fleischqualität von Gänsen ausgeschlossen |

| AP 9: Dissemination | |
|----------------------------|--|
| Beteiligte: | OG-Mitglied 4 |
| Zeitraum: | Gesamte Projektlaufzeit |
| Planung: | Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Koordinierung der Veröffentlichung der Studienergebnisse sowie die Durchführung von Workshops (einer pro Jahr) |
| Durchführung: | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Online-Präsenz <ul style="list-style-type: none"> • Projektlogo und -webseiten erstellt und regelmäßig aktualisiert: Uni Vechta, EIP Niedersachsen, EIP-Projektdatenbank ✓ Presse & Medien (Auswahl) <ul style="list-style-type: none"> • Pressemitteilungen angefertigt MyNewsdesk – Uni Vechta, top agrar, bioökonomie.de, idw-online.de • Interviews geführt: dpa, NDR (u.a. Videobeitrag Okt. 2022, Audiobeitrag März 2024), mdr, HAZ ✓ Vorträge & Präsentationen <ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaft & Fachöffentlichkeit: EIP-Netzwerktreffen, Forschungsförderungstage, Lehrveranstaltungen Göttingen & Halle zu Themen Wasserlinsenproduktion, Fütterung, alternative Proteinquellen, Nährstoffkreisläufe • Öffentlichkeitsformate: Innovationsmessen, Netzwerktreffen, Social Media-Beiträge |

2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Die eingesetzten Mittel entfielen ausschließlich auf Personal, Investitionen wurden bei den landwirtschaftlichen Praxispartnern nicht getätigt. Da der fachliche Austausch überwiegend online erfolgte, wurden für Abstimmungen und die partizipative Projektentwicklung deutlich weniger Reisemittel benötigt als ursprünglich vorgesehen.

Koordination: trafo:agrar

Zur Sicherstellung einer effektiven Organisation und Koordination des Gesamtprojekts wurde eine 15 %-Stelle (TV-L E13) eingerichtet. Diese übernahm zentrale Aufgaben wie die Steuerung von Arbeitsprozessen, die Abstimmung zwischen den Projektpartnern sowie die Qualitätssicherung der Zusammenarbeit.

OG 1: Universität Göttingen

An der Universität Göttingen konnte durch die Förderung wissenschaftliches Personal zur Planung, Durchführung und Auswertung der Versuche angestellt bzw. weiterbeschäftigt werden. Verbrauchsmaterialien für die Laboranalysen wurden beschafft und die vorhandenen Tierhaltungsanlagen wurden zur Durchführung der projektorientierten Versuche ausgestattet. Für die Fischversuche wurden Futtermittel angeschafft mit denen die Mischrationen erstellt wurden. Die Teilnehmer des sensorischen Panels erhielten Aufwandsentschädigungen aus der Fördersumme.

OG 2: NOVAgreen

Für die Labor- und Feldversuche bei NOVAgreen fielen vor allem Personalkosten für Vorversuche in den firmeneigenen Laboren und Gewächshäusern an. Der Schwerpunkt lag auf der Kultivierung, Ernte und Verarbeitung von WL, u. a. durch Trocknen, Vermahlen (Fischfutter) und Einfrieren (Gänsefutter).

OG 3: Hof Claßen

Die finanziellen Mittel des Gänsezuchtbetriebs wurden für die Bereitstellung und Haltung von Gänsen für Fütterungsversuche auf dem Betrieb und an der Universität Göttingen eingesetzt. Die Tiere wurden gruppenweise separiert, um gezielte Versuche mit WL durchzuführen. Das Gänsefleisch wurde der Universität zu Analysezwecken zur Verfügung gestellt. Zudem wurden Reisekosten für den Transport von Gänseküken, Futter und WL übernommen.

OG 4: trafo:agrar

Für die Veröffentlichung und Kommunikation der Projektergebnisse sowie zur fachlichen Unterstützung der OG wurde eine weitere 15 %-Stelle (TV-L E13) geschaffen. Die Aufgaben dieser Stelle umfassten die zielgruppengerechte Aufbereitung und Präsentation des Projekts und seiner Ergebnisse außerhalb des Projektkonsortiums – etwa im Rahmen von Netzwerktreffen, Messen und Webseminaren, aber auch durch Beiträge in Printmedien, auf Social-Media-Plattformen sowie in Interviews für Onlineformate.

Darüber hinaus wurde im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung die Wasserprobenahme bei der NOVAgreen für Analysen im Geo-Labor der Universität Vechta und bei der LUFA Nord-West durchgeführt.

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1 Ausgangssituation

Die Landwirtschaft steht zunehmend unter dem Druck, nachhaltige Lösungen für zentrale Umweltprobleme zu entwickeln. Eine der drängendsten Herausforderungen stellt der Umgang mit Nährstoffüberschüssen dar – insbesondere die Einträge von Stickstoff und Phosphor in Böden und Gewässer. Diese führen zu einer Überdüngung (Eutrophierung), die natürliche Gewässerökosysteme schädigt, die Biodiversität gefährdet und die Trinkwasserqualität beeinträchtigt. Gleichzeitig nehmen die gesellschaftlichen Anforderungen an Tierwohl, artgerechte Haltung und nachhaltige Futtermittelversorgung stetig zu. Landwirtinnen und Land-

wirte sehen sich dabei nicht nur mit steigenden ökologischen Auflagen konfrontiert, sondern auch mit wirtschaftlichen Belastungen durch gestiegene Dokumentationspflichten, Lagerungsanforderungen und fehlende Entsorgungsoptionen.

Auf nahezu allen landwirtschaftlichen Betrieben fallen verschieden stark belastete Brauch- und Oberflächenwässer an, zum Beispiel durch Regenwasser von Siloflächen, Tränkwasserreste in der Geflügelhaltung oder Badewasser in der Schweine- und Gänsemast. Diese Wässer sind oftmals nicht einleitfähig, da sie erhöhte Nährstoffkonzentrationen aufweisen. Eine gesetzeskonforme Einleitung erfordert meist eine kostenintensive Genehmigung oder Behandlung, was sowohl finanziell als auch logistisch eine erhebliche Belastung für die Betriebe darstellt. Die Alternative – die Lagerung des belasteten Wassers – verursacht zusätzlichen Platzbedarf und verstärkt das Problem des ohnehin übermäßigen Gülleaufkommens.

Gleichzeitig fehlt es an praxistauglichen, wirtschaftlich tragfähigen Konzepten zur Wiederverwertung der in diesen Wässern enthaltenen Nährstoffe. Eine Möglichkeit besteht darin, Nährstoffe biologisch in Biomasse zu binden, die anschließend weiterverwendet werden kann. Hier bietet sich die Wasserlinse (*Lemna spp.*) als natürlicher, wachstumsstarker Phytoremediant mit hohem Futterwert an. Sie wächst schnell, entzieht dem Wasser effizient Stickstoff und Phosphor und weist gleichzeitig einen hohen Gehalt an pflanzlichem Protein auf. Damit bietet sich die Chance, Umwelt- und Fütterungsprobleme gemeinsam anzugehen – durch eine innovative Kombination aus Wasseraufbereitung und Futtermittelproduktion.

2.2.2 Projektaufgabenstellung

Das Projekt verfolgte das Ziel, ein geschlossenes Kreislaufsystem für die Landwirtschaft zu entwickeln, bei dem nährstoffbelastetes Brauchwasser durch Wasserlinsen gereinigt und die daraus entstehende Biomasse als hochwertiges Futtermittel genutzt wird. Die Wasserlinse sollte dabei doppelt wirken: zur Nährstoffentfernung aus dem Wasser und als nachhaltige Tiernahrung.

Die Projektaufgaben gliederten sich in folgende Teilbereiche:

- **Kultivierung der Wasserlinse unter realen Betriebsbedingungen**
Erprobt wurde der Anbau auf nährstoffreichen Wässern aus Aquakultur- und Gänsehaltungsanlagen. Ziel war es, optimale Wachstumsbedingungen (Temperatur, Nährstoffgehalt, Wasserbewegung, Verweilzeiten) zu ermitteln.
- **Technische Umsetzung im Versuchsbetrieb**
Der Fokus lag auf der Erprobung einfacher, skalierbarer Produktionsansätze im kleinen Maßstab. Die ursprünglich geplante Entwicklung eines angepassten Produktionssystems mit industrieller Umsetzung konnte im Projektverlauf nicht vollständig realisiert werden. Stattdessen wurden vorhandene technische Lösungen modifiziert und auf ihre Eignung zur Wasserlinsenkultivierung im Praxiseinsatz getestet.
- **Ernte, Konservierung und Verarbeitung**
Aufgrund des niedrigen Trockensubstanzgehalts der Wasserlinsen wurden verschiedene Konservierungsverfahren (Trocknung, Silierung, Einfrieren) getestet, um Lagerfähigkeit und Transportfähigkeit zu verbessern und eine ganzjährige Nutzung als Futtermittel zu gewährleisten.
- **Fütterungsversuche mit Fischen und Gänsen**
In Versuchen an der Universität Göttingen und in dem kooperierenden Praxisbetrieb Hof Claßen wurde die Eignung der Wasserlinsen als Futtermittel untersucht. Gänse erhielten frische oder konservierte Wasserlinsen, während bei Forellen und Karpfen verarbeitete Mischfutter mit Wasserlinseanteilen zum Einsatz kamen. Bewertet wurden Nährwert, Verdaulichkeit, Futterakzeptanz, Wachstum sowie die Qualität der tierischen Produkte (z. B. Fleischzusammensetzung, Sensorik).
- **Bewertung der Reinigungsleistung und Kreislaufwirkung**
Die Wirksamkeit der Wasserlinse zur Nährstoffreduktion wurde analysiert. Ziel war es, Stickstoff und Phosphor vollständig über die Tierernährung zu verwerten, um Umweltbelastungen durch Exkreme zu minimieren.

- **Wirtschaftlichkeits- und Praxisbewertung**

Eine umfassende Bewertung mit belastbaren Zahlen und Betriebsmodellen, wie das System wirtschaftlich in bestehende landwirtschaftliche Betriebe integriert werden kann, war im Projektverlauf nicht möglich. Stattdessen wurden qualitative Einschätzungen zur betrieblichen Umsetzung, Skalierbarkeit sowie zu ökologischen und gesellschaftlichen Aspekten vorgenommen.

Das Projekt verbindet Gewässerschutz, Nährstoffmanagement und nachhaltige Futtermittelversorgung in einem innovativen, praxisnahen Ansatz. Im Mittelpunkt steht die Wasserlinse als multifunktionale Ressource, die Umwelt- und Tierproduktionsaspekte zugleich adressiert.

2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf

2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. Beispiele wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?

Die Zusammenarbeit innerhalb der OG erfolgte sowohl organisatorisch als auch praktisch in enger und regelmäßiger Abstimmung zwischen den Partnern. Dabei wurden verschiedene Formate genutzt, um einen kontinuierlichen Austausch sicherzustellen:

- **Regelmäßige Online-Meetings:** Monatliche virtuelle Treffen mit allen Mitgliedern der OG dienten dem Informationsaustausch, der Abstimmung von Arbeitspaketen sowie der Koordination weiterer Schritte im Projektverlauf.
- **Präsenztreffen:** Darüber hinaus fanden mehrere Präsenztreffen – unter anderem in Vechta – statt. Diese boten Raum für intensiven fachlichen Austausch, die Diskussion erster Projektergebnisse sowie die Planung weiterer praktischer Umsetzungsschritte.
- **Wechselseitige Besuche:** Zur Vertiefung des fachlichen Austauschs kam es zu gegenseitigen Besuchen einzelner OG-Mitglieder. Im Rahmen dieser Besuche wurden sowohl Erfahrungen als auch konkrete Arbeitsmaterialien ausgetauscht.
- **Materialtransfer und praktische Zusammenarbeit:**
 - **Analysearbeit:** NOVAgreen stellte zu Beginn des Projekts getrocknete WL zur Verfügung, die zur Analyse an die Universität Göttingen gesendet wurden.
 - **Starterkultur:** Eine lebende Starterkultur von Wasserlinsen wurde ebenfalls von NOVAgreen nach Göttingen geliefert und dort erfolgreich weiterkultiviert. Dies legte den Grundstein für die folgenden experimentellen Arbeiten.

Diese vielfältigen Formen der Zusammenarbeit ermöglichten eine gute Verzahnung von Praxis und Forschung und trugen wesentlich zum Fortschritt des Projekts bei.

2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG?

Die Durchführung des Projekts ReWali als OG hat sich als sinnvoll und wirkungsvoll erwiesen. Der strukturierte Austausch zwischen landwirtschaftlicher Praxis und wissenschaftlicher Forschung ermöglichte eine praxisnahe Auseinandersetzung mit relevanten Fragestellungen und förderte den gegenseitigen Wissenstransfer. Im Sinne der Zielsetzungen von EIP-Agri leistete das Projekt somit einen Beitrag zur stärkeren Verzahnung von Theorie und Praxis. Die partizipative Zusammenarbeit im OG-Format führte zu einem intensiven Lernprozess aller Beteiligten und schuf eine belastbare Grundlage für zukünftige Innovationsvorhaben. Auch wenn im Projekt keine anwendbare Lösung entwickelt wurde, lassen sich die eingesetzten methodischen Ansätze und die gewachsenen Kooperationsstrukturen auf andere Kontexte übertragen. ReWali zeigt damit, dass das OG-Modell einen wichtigen Beitrag zur Stärkung von AKIS sowie zur Weiterentwicklung praxisorientierter Forschung leisten kann.

2.3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?

Eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG ist ausdrücklich vorgesehen und aus mehreren Gründen fachlich sinnvoll sowie strategisch bedeutsam.

Im Rahmen des Projekts konnten wertvolle Kontakte zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen und Praxisakteuren aufgebaut und vertieft werden. Der Hof Claßen sowie NOVAgreen haben sich als innovative und engagierte Partner erwiesen. Beide Betriebe verfügen über umfangreiche praktische Erfahrung und zeigen eine hohe Bereitschaft, sich aktiv an wissenschaftlich begleiteten Entwicklungsprozessen zu beteiligen. Daher werden sie auch künftig als bedeutende Kooperationspartner der Universität Göttingen und trafo:agrar fungieren – insbesondere im Hinblick auf neue Versuchsvorhaben im Bereich der Gänsehaltung sowie im Zusammenhang mit Wirtschaftsdüngern und landwirtschaftlichen Reststoffen.

Darüber hinaus hat sich die Zusammenarbeit zwischen der Universität Göttingen und trafo:agrar als fruchtbarer Impulsgeber für die Entwicklung gemeinsamer Forschungs- und Innovationsansätze im Bereich der Transformationsforschung erwiesen. Beide Institutionen beabsichtigen, die laufende Kooperation fortzuführen, um systematisch neue Projektideen und Konzepte weiterzuentwickeln und transdisziplinäre Ansätze zur nachhaltigen Gestaltung agrarischer Wertschöpfungsketten zu fördern.

Die Verstetigung dieser Partnerschaften eröffnet somit nicht nur Potenziale zur fachlichen Weiterentwicklung, sondern trägt auch langfristig zur Stärkung des Innovationssystems im ländlichen Raum bei.

2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes

2.4.1 Zielerreichung

Über die Projektlaufzeit hinweg konnten wesentliche Meilensteine erreicht und zentrale Zielstellungen erfolgreich umgesetzt werden:

- **Aufbau funktionierender Produktionssysteme:** An der Universität Göttingen sowie bei NOVAgreen wurden Wasserlinsenproduktionen im Innen- und Außenbereich etabliert, optimiert und über mehrere Vegetationsperioden betrieben.
- **Ermittlung optimaler Kulturbedingungen:** Labor- und Praxisversuche lieferten belastbare Daten zu Wachstumsbedingungen, Nährstoffaufnahme und Kulturstabilität (z. B. Einfluss von Licht, Temperatur, Eisenverfügbarkeit).
- **Integration in Nährstoffkreisläufe:** Die Nutzung von Abwässern aus Aquakultur sowie erste erfolgreiche Anzuchtversuche mit Gänse-Schlabbergülle demonstrierten das Potenzial der Wasserlinsen zur Nährstoffrückgewinnung.
- **Fütterungsversuche:** In zwei umfassenden Fütterungsversuchen mit Forellen und Karpfen sowie Akzeptanz- und Fütterungstests mit Gänsen konnte die Eignung der Wasserlinsen als Futtermittelkomponente bestätigt werden.
- **Verarbeitung und Konservierung:** Es wurden geeignete Verfahren zur Trocknung und Silierung der Wasserlinsen entwickelt und erprobt, um deren Lager- und Transportfähigkeit zu verbessern.
- **Öffentlichkeitsarbeit und Vernetzung:** Das Projekt erzielte hohe Sichtbarkeit durch Veröffentlichungen, Vorträge und Medienberichte. Zudem fand ein aktiver Wissenstransfer in Fachkreise und Praxis statt.

Die enge Zusammenarbeit der OG-Partner und die iterative Anpassung des Versuchsdesigns angesichts praktischer Herausforderungen (z. B. Wetter, Vogelgrippe, Materialverfügbarkeit) trugen entscheidend zur erfolgreichen Umsetzung des Projekts bei.

2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis

Im Projektverlauf zeigten sich mehrere Arbeitsbereiche, in denen geplante Tätigkeiten nicht wie vorgesehen umgesetzt werden konnten oder zu keinem abschließenden Ergebnis führten.

| Arbeitspakete | Geplante Maßnahme | Tatsächliche Umsetzung / Abweichung | Ursache |
|--|---|--|--|
| AP 3 Anbauversuch in vivo | Wasserlinsenanbau und Aufbau eines Hydrozyklons auf dem Hof Claßen | Anbausystem konnte vor Ort nicht installiert werden; Wasserlinsenanbau stattdessen bei NOVAgreen und wie ursprünglich nicht eingeplant auch an Universität Göttingen | Vogelgrippe-Prävention, bauliche Einschränkungen |
| AP 5 Fütterungsversuche | Gänsefütterungsversuch mit verschiedenen Lemna-Zulagen | Reduzierter Wahlversuch zur Akzeptanzprüfung an der Universität Göttingen; später und angepasster Fütterungsversuch mit wenigen Gänsen auf Hof durchgeführt | unzureichende Menge an Wasserlinsen |
| AP 6 Lagerfähigkeit | Systematischer Silierungsversuch 2023 | Versuch musste verschoben werden; erneuter Versuch erst für Juli/August 2024 | Lieferprobleme bei Versuchsdurchführung |
| AP 7 Integration in Betrieb | Integration des Hydrozyklon-Anbausystems in Betriebspraxis | Keine Einbindung möglich; keine Fütterung mit vor Ort produzierten WL; Rückgriff auf externe Produktion | Technisches Scheitern am geplanten Standort |
| AP 8 Fleischqualität & Akzeptanz | Konsumententests mit Fisch- und Gänsefleisch nach Wasserlinsenfütterung | keine Konsumententests möglich | Gänseversuche nur unvollständig; geringe Verfügbarkeit an Fischfilet |

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass insbesondere durch technische, organisatorische und produktionstechnische Einschränkungen sowie Mengenengpässe mehrere Arbeitspakete nicht wie geplant abgeschlossen und teilweise nur in angepasster oder reduzierter Form durchgeführt werden konnten.

2.4.3 Projektverlauf (evtl. Fotos)

Der Projektverlauf des ReWali-Vorhabens war durch eine enge und kontinuierliche Zusammenarbeit der OG geprägt. Nach dem offiziellen Projektstart im Mai 2022 wurde die Koordination durch trafo:agrar übernommen. Regelmäßige Online-Treffen sowie bilaterale Abstimmungen ermöglichten einen stetigen Austausch zwischen allen Beteiligten.

Zu Beginn standen Aufbau und Erprobung geeigneter Produktionssysteme für Wasserlinsen im Fokus (siehe Anhang S. 52). Parallel dazu wurden Laborversuche durchgeführt, um optimale Wachstumsbedingungen zu definieren. Bereits im ersten Projektjahr konnten stabile Kulturen in Innen- und Außenanlagen an den Standorten Göttingen und bei NOVAgreen etabliert werden. Die ursprünglichen Pläne zur Nutzung des Hydrozyklon-Systems am Hof Claßen mussten aus Gründen der Seuchenprävention angepasst werden.

Im weiteren Verlauf wurden die Wasserlinsenproduktion ausgebaut, die Ernteprozesse verbessert und Konservierungsmethoden entwickelt. Es folgten umfangreiche chemische Analysen sowie die Umsetzung mehrerer Fütterungsversuche mit Forellen (siehe Anhang S. 24), Karpfen (siehe Anhang S. 34) und Gänsen (siehe Anhang S. 44). Trotz witterungsbedingter Einschränkungen und logistischen Herausforderungen konnten alle vorgesehenen Versuchskomponenten planmäßig oder mit angemessener Anpassung realisiert werden.

Besonderes Augenmerk lag auf der Weiterentwicklung des Produktionsverfahrens im Sinne einer praxistauglichen, kreislaufforientierten Lösung zur Nährstoffrückgewinnung. Durchgehend wurde der Projektfortschritt dokumentiert und in verschiedenen Fachgremien sowie der Öffentlichkeit vorgestellt. In der zweiten Projektphase konnte durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit, Präsentationen und Medienberichte die Sichtbarkeit des Projekts weiter erhöht werden.

2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen

Das Projekt ReWali leistete einen gezielten Beitrag zur Umsetzung der Ziele der Europäischen Innovationspartnerschaft „Produktivität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft“ (EIP Agri).

Im Sinne der EIP Agri adressiert das Projekt eine konkrete Herausforderung der Agrar- und Ernährungswirtschaft: die Verwertung nährstoffbelasteter Abwässer aus der Tierhaltung sowie die Entwicklung alternativer, nachhaltiger Futtermittelquellen. Ziel war es, ein innovatives, praxisintegrierbares Kreislaufsystem zu entwickeln, das Wasserlinsen zur Nährstoffreduktion einsetzt und deren Biomasse gleichzeitig als hochwertiges Futtermittel verwertbar macht – insbesondere für Forellen, Karpfen und Gänse.

Dabei wurde der Innovationsprozess praxisnah, interaktiv und ergebnisoffen gestaltet. Die enge Zusammenarbeit zwischen einem landwirtschaftlichen Betrieb (Hof Claßen), einem Aquakulturunternehmen (NO-VAGreen) und der Wissenschaft (Universität Göttingen, trafo:agrar) erfüllte das zentrale EIP-Ziel des verbesserten Wissenstransfers zwischen Praxis und Forschung.

Im Projekt wurden mehrere Pilotprojekte durchgeführt, darunter:

- **Anbauversuche mit Wasserlinsen** auf unterschiedlichen Nährstoffquellen (z. B. Schlubberwasser, nährstoffangereichertem Brunnenwasser, Aquakulturanlagenabwasser),
- **Erprobung und Optimierung von Konservierungsmethoden** (Trocknung, Silierung, Einfrieren),
- **Fütterungsversuche mit Gänsen und Fischen**, inklusive sensorischer Analysen und Bewertung der Fleischqualität.

Diese Aktivitäten zielten direkt auf die Entwicklung neuer Verfahren und Technologien ab und verfolgten den Anspruch, Ideen erfolgreich in die Praxis zu überführen. Die Rolle der Praxispartner war dabei aktiv und gestaltend: Sie stellten Flächen, Tiere und Betriebsmittel zur Verfügung und wirkten an Planung, Durchführung und Bewertung der Maßnahmen mit.

Das Projekt setzt damit keine reine Forschung um, sondern adressiert die EIP-Förderkriterien mit starkem Praxisbezug, klarem Anwendungsfokus und hohem Innovationspotenzial – insbesondere durch die Kombination von Phytoremediation, Nährstoffmanagement und Tierernährung in einem ganzheitlichen Kreislaufansatz.

Die Ergebnisse aus ReWali tragen nicht nur zur Nachhaltigkeit und Tiergerechtigkeit in der Landwirtschaft bei, sondern eröffnen auch neue Perspektiven für die Diversifizierung der Futtergrundlage, die Ressourceneffizienz und die ökologische Aufwertung betrieblicher Prozesse.

2.4.5 Nebenergebnisse

Im Rahmen des Innovationsprojekts wurden zwei Versuche durchgeführt, um potenzielle Nebeneffekte des Einsatzes von Wasserlinsen (*Lemna minor* und *Spirodela polyrhiza*) in der Aquakultur zu untersuchen. Dabei standen die **Nährstoffelimination aus Prozesswasser** und **Auswirkungen auf das Tierwohl von Tilapien (*Oreochromis niloticus*)** im Fokus.

1. Versuch: Nährstoffelimination durch Wasserlinsen

Zielsetzung

Untersuchung der Fähigkeit von WL, Phosphor- und Stickstoffverbindungen aus dem Prozesswasser einer Aquakulturanlage zu binden.

Methodik

- Drei Versuchseinheiten mit Wasserlinsen + eine Kontrolle ohne Pflanzen
- Laufzeit: 7 Tage
- Tägliche Analyse von Ammonium, Nitrit, Nitrat und Phosphat
- Analyse des Pflanzenmaterials am Anfang und Ende (Wachstum, Proteingehalt, P-Gehalt)

Ergebnisse

- **Phosphat:** Deutliche Reduktion in WL-Boxen (von 0,114 auf 0,013 mmol/L); Kontrolle nahezu unverändert
- **Ammonium:** Reduktion in allen Becken, in WL-Boxen stärker ausgeprägt
- **Nitrat:** Geringe, nicht signifikante Veränderung
- **Nitrit:** Starker Anstieg in WL-Boxen → möglicher Hinweis auf mikrobielle Aktivität
- **Pflanzenanalyse:**
 - Zunahme des P-Gehalts im Pflanzengewebe
 - Geringfügig niedrigerer Rohproteingehalt am Ende
 - Sichtbares Pflanzenwachstum in den WL-Boxen

Fazit

WL zeigten ein klares Potenzial zur Phosphorbindung im Prozesswasser. Die Stickstoffentfernung war uneinheitlich, insbesondere der Nitritanstieg erfordert weitere Aufklärung. Dennoch deuten die Ergebnisse auf einen ökologischen Mehrwert durch WL in der Wasseraufbereitung hin.

2. Versuch: Einfluss von Wasserlinsen auf das Tierwohl von Tilapien

Zielsetzung

Erhebung potenzieller Effekte von WL im Haltungssystem auf Wachstum, Farbveränderung und Flossengesundheit von Tilapien.

Methodik

- Je drei Becken mit (Versuch) und ohne WL (Kontrolle)
- Laufzeit: 6 Wochen
- Erfassung von Gewicht, Länge, Futteraufnahme
- Bewertung der Haut- und Filetfarbe sowie Flossenschäden

Ergebnisse

- **Wachstum/Futtermittelverwertung:** Keine signifikanten Unterschiede
- **Farbe:** Erhöhter Gelbanteil bei Haut und Filet in der WL-Gruppe → Hinweis auf Carotinoidaufnahme
- **Flossengesundheit:** Signifikant geringere Schäden an Brustflossen bei Tieren mit WL

Fazit

Die reduzierte Flossenschädigung deutet auf ein geringeres Stress- und Aggressionsverhalten hin – möglicherweise durch Rückzugsräume oder veränderte Reizwahrnehmung infolge der Wasserlinsenabdeckung. Der erhöhte Gelbanteil bestätigt die Nährstoffaufnahme und könnte die Vermarktung positiv beeinflussen.

Eine ausführliche Darstellung der Nebenergebnisse ist dem Anhang ab Seite 67 zu entnehmen.

2.4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben

Siehe Kapitel 2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis.

2.4.7 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern

Die Anlage zur Produktion von Wasserlinsen in der Aquakulturanlage des DNTWs der Universität Göttingen wird weiterhin betrieben. Dort sollen weitere Anbauversuche auf den Abwässern der Fischanlage durchgeführt werden. Die Stalleinrichtung aus dem Gänseversuch steht ebenfalls für weitere Versuche zur Verfügung.

2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Sind verwertbare/nutzbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?

Im Rahmen des Projekts konnten keine unmittelbar verwertbaren Produkte, Verfahren oder Technologien entwickelt werden. Ursprünglich war vorgesehen, die Produktion und Ernte der Wasserlinsen mithilfe eines zu errichtenden Hydrozyklons auf einem Gänsebetrieb durchzuführen. Dieses Vorhaben musste jedoch frühzeitig aufgegeben werden, da das Risiko der Einschleppung der Vogelgrippe in das offene Nährmedium als zu hoch eingestuft wurde. Die damit verbundenen biosicherheitsrelevanten Bedenken machten eine Umsetzung unter Praxisbedingungen nicht vertretbar.

Zusätzlich stellten sich rechtliche Einschränkungen für die Verwendung von Wasserlinsen (WL) als Futtermittel heraus, insbesondere wenn diese auf Substraten wie Gülle oder Gärresten kultiviert werden. Zwar existiert keine spezifische EU-Verordnung, die den Einsatz solcher WL explizit untersagt, jedoch greifen mehrere europäische Rechtsvorgaben – insbesondere die Verordnungen (EG) Nr. 183/2005 (Futtermittelhygiene), Nr. 767/2009 (Inverkehrbringen von Futtermitteln) sowie Nr. 1069/2009 (tierische Nebenprodukte) – die hohen hygienischen Anforderungen an Futtermittel stellen. Aufgrund der potenziellen Risiken, etwa mikrobiologischer Kontamination oder Schwermetallbelastung, wird die Verwendung auf Güllebasis produzierter WL faktisch ausgeschlossen.

Im weiteren Projektverlauf wurde die Wasserlinsenproduktion daher an alternative, kontrollierbare Standorte verlagert. Die Kultivierung erfolgte unter anderem bei NOVAgreen an den Standorten Vechta-Langförden und Großenkneten sowie an der Universität Göttingen und deren Versuchsgut Relliehausen. In Göttingen wurde eine Wasserlinsenproduktion in Kombination mit einer bestehenden Aquakulturanlage aufgebaut. Hierbei konnte die Kultivierung unter standardisierten Bedingungen erfolgen.

Trotz der beschriebenen Einschränkungen konnten wertvolle wissenschaftliche Erkenntnisse zur Kultivierung, Erntetechnologie und Konservierung von Wasserlinsen gesammelt werden. Von hoher Relevanz ist, dass 2024 eine Zulassung von Proteinkonzentraten aus den Arten *Lemna gibba* und *Lemna minor* als neuartige Lebensmittel in der Europäischen Union erfolgte. Diese Entscheidung, basierend auf wissenschaftlichen Gutachten der EFSA, stellt einen bedeutenden Fortschritt hinsichtlich der rechtlichen Rahmenbedingungen dar. Sie erleichtert künftig die Nutzung von Wasserlinsen als nachhaltige Proteinquelle für den menschlichen Verzehr und schafft die notwendige Rechtssicherheit für Erzeuger und Verarbeiter.

Die regulatorische Öffnung im Lebensmittelbereich bietet somit neue Perspektiven für eine wirtschaftlich tragfähige Verwertung der Wasserlinsenproduktion, auch wenn eine Nutzung als Futtermittel aktuell noch durch rechtliche Hürden eingeschränkt bleibt. Langfristig könnten diese Entwicklungen jedoch auch Impulse für eine Anpassung der Futtermittelvorschriften geben und damit eine breitere Anwendung ermöglichen.

2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Die im Rahmen des Projekts erzielten Erkenntnisse bieten eine wertvolle Grundlage für die wirtschaftliche Nutzung sowie die weitere Forschungsentwicklung im Bereich der nachhaltigen Landwirtschaft und Futtermittelproduktion. Auch wenn keine unmittelbar marktfähigen Produkte oder Verfahren entwickelt wurden, tragen die entwickelten Ansätze und gewonnenen Daten zur Kultivierung, Ernte, Verarbeitung, Lagerung und

Verwertung von WL entscheidend dazu bei, wirtschaftliche Lösungen zu entwickeln, die sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bieten.

Die Ergebnisse aus den Fütterungsversuchen sind zur Veröffentlichung in wissenschaftlichen Fachzeitschriften vorgesehen und sollen auf nationalen und internationalen Tagungen vorgestellt werden.

2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Gibt es weitergehende (wissenschaftliche) Fragestellungen aus den Projektergebnissen, die zukünftig zu bearbeiten sind?

Das Projekt hat wertvolle Erkenntnisse zur Produktion von WL und deren Potenzial zur Reduktion des Nährstoffeintrags in Gewässer sowie zur Nutzung als Futtermittelquelle geliefert. Dennoch bleiben weitere wissenschaftliche Fragestellungen offen, die in zukünftigen Forschungsprojekten weiter vertieft werden sollten, um das volle Potenzial der WL als Alternative zu Soja und Fischmehl in Futtermitteln auszuschöpfen und ihre wirtschaftliche Rentabilität zu steigern.

Wissenschaftliche Fragestellungen

Ein zentraler Aspekt für zukünftige Forschung ist die Optimierung der Kultivierungsbedingungen von WL, insbesondere im Hinblick auf Ertragssteigerung und Nährstoffaufnahme. Hier könnten gezielte Forschungsansätze zur Steigerung der Effizienz durch den Einsatz neuer Technologien oder angepasster Nährmedien entwickelt werden. Ebenso stellt sich die Frage nach der langfristigen Stabilität der Nährstoffbindung und der Auswirkungen der Wasserlinsenproduktion auf das ökologische Gleichgewicht in den Kultivierungsgewässern.

Darüber hinaus müssen die hygienischen Anforderungen und rechtlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz von Gülle als Nährmedium weiter erforscht werden. Insbesondere die Entwicklung kosten- und energieeffizienter Verfahren zur Hygienisierung der WL oder zur Verwertung von WL stellt einen weiteren wichtigen Forschungsschwerpunkt dar.

Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Wirtschaftlich betrachtet ist die Marktfähigkeit von WL als Futtermittelquelle und nachhaltige Ressource noch nicht vollständig ausgeschöpft. Zukünftige Arbeiten sollten darauf abzielen, die wirtschaftliche Rentabilität der Wasserlinsenproduktion unter Berücksichtigung von Produktionskosten, Skalierbarkeit und Marktnachfrage zu analysieren. Die Entwicklung von kostenoptimierten Anbautechniken sowie die Integration der Wasserlinsenproduktion in bestehende landwirtschaftliche Betriebsstrukturen sind von großer Bedeutung, um die wirtschaftliche Tragfähigkeit der Technologie langfristig sicherzustellen.

Die Ergebnisse der Fischversuche weisen auf eine gute Verträglichkeit und Einsatzfähigkeit der WL als Bestandteil von Fischfutter hin. Insbesondere bei den Karpfen scheint der Einsatz auch in größeren Mengen möglich zu sein. Die durch den Einsatz von WL im Fischfutter hervorgerufenen Veränderungen der Rohnährstoffzusammensetzung in den Fischfilets insbesondere des Fettsäurenusters und des Rohproteingehalts (s. Anhang) bestätigen die angenommenen positiven Auswirkungen der hochwertigen Inhaltsstoffe von WL auf Fische. Hiermit besteht die Möglichkeit teures Fischmehl und Sojaprodukte (Karpfen) zu ersetzen ohne Qualitätseinbußen im Lebensmittel Fischfilet in Kauf zu nehmen. Es besteht weiterer Forschungsbedarf zu eventuellen antinutritiven Inhaltsstoffen und der allgemeinen Verdaulichkeit von WL bei Fischen, um die geringere Leistung der mit WL gefütterten Fische besser zu erklären und ggf. technologisch entgegenzuwirken. Darauf folgt als wirtschaftliche Anschlussfähigkeit eine Zusammenarbeit mit Futtermittelherstellern für Fische, mit diesen könnte auf Basis der Ergebnisse ein marktfähiges Futtermittel mit WL-Anteil entwickelt werden. Dies könnte auch im Rahmen eines weiteren EIP-Projektes stattfinden.

Ein weiterer Aspekt der wirtschaftlichen Anschlussfähigkeit betrifft die kommerzielle Nutzung von WL in weiteren Sektoren wie der Biomasseverwertung, der Pharmaindustrie oder der kosmetischen Industrie, was zusätzliches Potenzial für die Nutzung dieser Pflanzen bietet. Hier könnten Kooperationen mit Unternehmen und Branchenvertretern zur Erschließung neuer Märkte sinnvoll sein.

Fazit

Die weitergehenden wissenschaftlichen Fragestellungen und die wirtschaftliche Weiterentwicklung der Wasserlinsentechnologie bieten zahlreiche Ansatzpunkte für zukünftige Projekte. Insbesondere die Optimierung der Produktionsverfahren, die Forschung zu alternativen Einsatzmöglichkeiten und die wirtschaftliche Integration in bestehende Wertschöpfungsketten bieten vielversprechende Perspektiven. Durch die Vernetzung mit Forschungseinrichtungen, Unternehmen und politischen Entscheidungsträgern können die Ergebnisse dieses Projekts dazu beitragen, das langfristige Potenzial von WL als nachhaltige Ressource weiter auszubauen.

2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept:

Darstellung in welcher Weise die Ergebnisse kommuniziert oder verbreitet wurden, ggf. mit Verweis auf Veröffentlichungen und Angabe der Quellen. Grundsätzliche Schlussfolgerungen (ggf. Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft) und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP AGRI.

Das Projekt ReWali setzte auf ein breit gefächertes Kommunikations- und Disseminationskonzept, das sowohl die **wissenschaftliche Fachöffentlichkeit** als auch die **interessierte Allgemeinheit** adressierte. Ziel war es, die Projektergebnisse zur Nutzung von Wasserlinsen als nachhaltige Futtermittelkomponente und zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in Gewässer sichtbar, verständlich und wirksam zu verbreiten.

Digitale Projektpräsenz

- **Webseiten** zur Darstellung von Zielen, Fortschritten und Ergebnissen:
 - [trafo:agrar – Projektübersicht](#)
 - [EIP-Niedersachsen – Projektsteckbrief](#)
 - EIP-Projektdatenbank der DVS
- **Logo** zur einheitlichen visuellen Kommunikation wurde entwickelt und eingesetzt.

Presse- und Medienarbeit

- **Pressemitteilungen** und Beiträge zum Projektstart und -verlauf, z. B.:
 - Pressemitteilung der Universität Vechta auf MyNewsdesk
- **Medienberichterstattung in überregionalen Formaten**, z. B.:
 - *top agrar*
 - *NDR Radio und Fernsehen*
 - *DGS – Magazin für Geflügelwirtschaft*
- **Audiobeitrag**:
 - *NDR Info, 09.03.2024: „Besser fürs Klima: Entengrütze als Ersatz für Soja-Tierfutter“*

Für den Projektabschluss ist zudem ein Fachartikel in der Zeitschrift Land & Forst geplant, um zentrale Ergebnisse einem praxisnahen landwirtschaftlichen Fachpublikum zugänglich zu machen.

Fachliche Dissemination und Wissenschaftskommunikation

- **Teilnahmen an Fachveranstaltungen** u.a. EIP-Netzwerkveranstaltungen, Forschungsfördertage
- **Wissenschaftliche Vorträge** an Hochschulen (Göttingen, Halle), in Modulen wie „Aquakultur“, „Ernährungsphysiologie“ oder im Rahmen interner Seminare
- **Präsentationen auf Veranstaltungen**

Beispielhafte Veranstaltungen:

- Netzwerktreffen EIP agri Niedersachsen (21.03.2023)

- Bundesweiter EIP-Workshop, Kassel (17.–18.10.2023)
- Webinar der Landwirtschaftskammer NRW (02.11.2023)
- Europafest 2024, Hannover (01.06.2024)
- EIP Sommerfest des Niedersächsischen Ministeriums, Hannover (13.08.2024)
- Forschungsfördertag Universität Vechta (07.11.2024)
- Digitaler Austausch EIP agri Fokus Nährstoffkreisläufe (20.03.2025)

Geplante Veranstaltung:

- Abschlussveranstaltung (Online) im September 2025, offen für Fachöffentlichkeit und interessierte Öffentlichkeit

Social Media und Online-Videos

Die **Kommunikation über soziale Medien** spielte eine wichtige Rolle bei der zielgerichteten Ansprache einer breiten Öffentlichkeit und Nachwuchswissenschaftler:innen. Dabei wurden Beiträge sowohl über institutionelle als auch persönliche Profile verbreitet:

- **Instagram und Facebook:**
 - 15.10.2022: [Vechta – Upcycling mit Wasserlinsen](#) (DAS! Magazin im NDR Fernsehen)
 - 10.05.2023: [Potenzial von Wasserlinsen als Futtermittel](#) (Instagram - agrardebatten)
 - 16.05.2023: Kleine Pflanzen, große Möglichkeiten (facebook – Universität Göttingen)
- **LinkedIn:**
 - 07/2024: [Sensorische Analyse von Karpfen aus Wasserlinsenfütterung](#)
 - 11/2024: [Auszeichnung von Claire Morgensieben auf der DGSens in Fulda](#)
- **YouTube und Film-Beiträge:**
 - [YouTube - ReWali Kurzbericht](#) -> 1. Platz DGSens Jung-Sensoriker-Förderpreis 2024
 - 25.04.2025: [Dokumentarfilm „Höfe – Familie, Wirtschaft, Wandel“](#) Filmpremiere in Vechta

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit vor Ort

- Zahlreiche **Interviews und Medienkontakte** mit u. a. dpa, NDR, mdr, HAZ
- Koordination von Terminen und Bereitstellung von Foto- und Videomaterial
- Projektvorstellung auf dem Hof Claßen trotz Einschränkungen durch Vogelgrippe

Fazit

Das Projekt ReWali hat seine Kommunikationsziele über mehrere Kanäle hinweg erfolgreich umgesetzt: von der digitalen Projektkommunikation über Social Media und klassische Pressearbeit bis hin zur wissenschaftlichen Dissemination. Durch die gezielte Ansprache verschiedener Zielgruppen konnten die innovativen Erkenntnisse zur nachhaltigen Nutzung von Wasserlinsen als Futtermittelkomponente effektiv verbreitet und zur Diskussion gestellt werden.

3 Anhang

3.1 Fütterungsversuch Forellen

Versuchsbeschreibung

An der Georg-August-Universität wurde von Juni bis Oktober 2023 (15 Wochen) ein Fütterungsversuch mit 240 Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*, Abbildung 1) in einer Kreislaufanlage durchgeführt. Eine Kreislaufanlage (RAS, *recirculated aquaculture system*) ist ein geschlossenes System, in dem das Wasser kontinuierlich aufbereitet und wiederverwendet wird. Dabei durchläuft es bei jedem Umlauf mechanische (Feststoff-) und biologische Filtereinheiten zur Entfernung von Partikeln und zur Umwandlung stickstoffhaltiger Verbindungen.

Regenbogenforellen zählen zu den wichtigsten in Deutschland produzierten Speisefischen. Sie stellen hohe Ansprüche an die Haltungsbedingungen und werden traditionellerweise in von natürlichen Flüssen gespeisten Durchflussanlagen gehalten, wo die benötigte hohe Wasserqualität gewährleistet werden kann. Da Forellen Raubfische sind und in der Natur überwiegend tierische Nahrung aufnehmen, stellen Sie ebenfalls hohe Ansprüche an die Ernährung und brauchen für ein optimales Wachstum einen hohen Protein- und Energiegehalt. Der Versuch zielte darauf ab zu untersuchen, ob eine Fütterung mit WL im teilweisen Austausch von Fischmehl Effekte auf das Wachstumsverhalten der Fische, die Fleischzusammensetzung und -qualität der Fischfilets sowie die sensorische Beurteilung hat. Das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) genehmigte den Versuch unter der Kennziffer 33.9-42502-04-22-00064 am 21.06.2022. Die eingesetzten Fische waren im Dezember 2022 in der AG Aquakultur des Departments für Nutztierwissenschaften der Universität Göttingen reproduziert worden und hatten bei der Überführung in die Versuchsanlage ein durchschnittliches Gewicht von $62,9 \pm 6$ g. Die Tiere wurden auf 12 Becken in 4 Versuchsgruppen mit jeweils 3 Wiederholungen aufgeteilt, sodass ein Becken mit 20 Fischen besetzt war. Im Versuchsverlauf wurden die Schnittgewichte der Gruppen bestimmt, also das Gesamtgewicht aller Fische in einem Becken. Die erste und zweite Wiegung fand nach jeweils einer Woche statt, im weiteren Verlauf wurden die Zwischenwiegunen 2-wöchentlich durchgeführt. Jede Versuchsgruppe wurde per Hand einmal täglich, entweder mit einer Kontrolldiät (K) ohne WL oder einer Versuchsdiät, welche 10% (WL10), 15% (WL15) oder 20% (WL20) Wasserlinsenmehl enthielt, gefüttert (Tabelle 1). Die verabreichte Futtermenge entsprach in der ersten Versuchswoche 1%, in der zweiten Woche 1,25% und nach dieser Adaptationsphase ab der dritten Woche bis zum Ende des Versuches 1,5% der Lebendmasse der Fische. Die vollständige Aufnahme der Pellets wurde täglich kontrolliert. Die Diäten wurden von den Fischen gut angenommen und waren so konzipiert, dass sie trotz der unterschiedlichen Zusammensetzung einen ähnlichen Gehalt an Energie und Protein aufweisen sollen (s. Tabelle 1).



Abb. 1: Versuchsforelle (Bild: Alina Haus)

| <i>Diäten</i> | K | WL10 | WL15 | WL20 |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Zutaten in % TM | | | | |
| Wasserlinsenmehl | 0 | 10 | 15 | 20 |
| Fischmehl | 20 | 15 | 13 | 11 |
| Sojaproteinkonzentrat | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Weizengluten | 13,98 | 14,9 | 13,9 | 11,82 |
| Weizenmehl | 23 | 17,1 | 15,1 | 14 |
| Fischöl | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Rapsöl | 11 | 11 | 11 | 11 |
| L-Lysin | 0 | 0 | 0,01 | 0,13 |
| L-Cystein | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| D, L-Methionin | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| Vit-Amino-Mix | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Zusammensetzung in % TM | | | | |
| Rohprotein | 42,6 | 41,5 | 39,1 | 39,8 |
| Rohfett | 21,5 | 21,5 | 22,8 | 22,5 |
| Rohfaser | 1,7 | 2,6 | 3,1 | 3,5 |
| Rohasche | 7,2 | 8,0 | 8,1 | 9,1 |
| NDF | 14,2 | 15,3 | 16,4 | 17,0 |
| ADF | 2,6 | 4,5 | 5,2 | 6,2 |
| ADL | 0,5 | 0,8 | 0,9 | 0,9 |
| Energiegehalt (MJ/Kg TM) | | | | |
| Bruttoenergie ¹ | 21,8 | 21,8 | 22,0 | 21,7 |
| Verdauliche Energie ² | 18,5 | 18,5 | 18,6 | 18,4 |

Abkürzungen: NDF=Neutral-Detergenzien-Faser, ADF=Säure-Detergenzien-Faser, ADL=Säure-Detergenzien-Lignin

¹Schätzung: Protein = 23,6 MJ/Kg TM; Fett = 39,5 MJ/Kg TM; Stickstofffreie Extraktstoffe = 17,2 MJ/Kg TM (NRC, 2011; Blaxter, 1989)

²Schätzung: Protein = 20,9 MJ/Kg TM; Fett = 35,1 MJ/Kg TM; Kohlenhydrate = 11,0 MJ/Kg TM (Verweis auf Bailey & Alanärä, 2006)

Für die Herstellung der Futtermittel mussten WL in ausreichender Menge bezogen werden. Da der Projektpartner NOVAgreen zu dem Zeitpunkt die benötigten Mengen nicht liefern konnte, wurden 80% der WL von einem kommerziellen Hersteller bezogen (Hofapotheke St. Afra, Augsburg). Weitere 10% WL stammten aus der eigenen kleinen Produktionsanlage am Department für Nutztierwissenschaften in Göttingen und der Projektpartner NOVAgreen lieferte die übrigen 10%. Die WL aus eigener Herstellung wurden vor Ort getrocknet, die übrigen getrocknet geliefert und in einer Schneidmühle (Firma Retsch, SM300) mit einem 0,5mm Sieb gemahlen. Die unterschiedlichen verwendeten WL wurden vermischt und analysiert (Tabelle 2). Es wurden WL der Arten *Lemna minor* und *Spirodela polyrhiza* verwendet. Alle übrigen Futterkomponenten wurden bei kommerziellen Versandhändlern erworben.

Tab. 2: Rohnährstoffe und Aminosäurenmuster des für die Forellendiäten verwendeten Wasserlinsenmehls

| Rohnährstoffe | |
|----------------------|--------------------|
| Trockenmasse (%) | 92,8 |
| Rohprotein (% TM) | 21,4 |
| Rohfett (% TM) | 1 |
| Rohfaser (% TM) | 17,2 |
| Rohasche (% TM) | 19,4 |
| Aminosäuren | % von 100g Protein |
| Lysin | 4,1 |
| Methionin | 1,63 |
| Cystein | 1,27 |
| Threonin | 3,55 |
| Valin | 4,4 |
| Isoleucin | 3,5 |
| Leucin | 6,59 |
| Tyrosin | 2,92 |
| Phenylalanin | 4,06 |
| Histidin | 1,9 |
| Arginin | 5,29 |

Die Herstellung des Mischfuttermittels erfolgte bei der Firma Amandus Kahl in Reinbek. Die trockenen Futterkomponenten wurden in einem 100 l - Chargenmischer vorgemischt und anschließend mit Hilfe von Wasserdampf und Wasserzugabe konditioniert, sodass die Vormischungen einen Wassergehalt von 22 % aufwiesen. In einem Extruder wurden die Pellets unter geringer Ölzugabe mit einer 4 mm Matrize auf einen Durchmesser von 4,5 mm gebracht und den abschließend benötigten Fettgehalt erhielten sie mittels Coating in einer Vakuumtrommel. Abgefüllt in Säcke gelangten die Pellets an die Universität Göttingen und wurden dort bis zur Verwendung trocken (bei +4 °C) gelagert.

Im Laufe des Versuches starben zwei Fische der Kontrollgruppe aus unbekannten Gründen. Der Fütterungsversuch endete nach 15 Wochen mit der tierschutzgerechten Schlachtung mit Betäubung per Kopfschlag und anschließender Tötung durch Kiemenrundschnitt. Unmittelbar nach Eintritt des Todes wurden die Fische gewogen und vermessen; zusätzlich wurde die Hautfarbe anhand von L*a*b-Werten bestimmt. Anschließend wurden die Fische mit Leitungswasser abgespült und ausgenommen. Die Verarbeitung fand in einem Schlachtraum statt und beinhaltete die Filetierung und Häutung; außerdem wurden die Köpfe abgetrennt. Jedes Filet wurde gewogen und die Filetfarbe bestimmt, bevor sie vakuumverpackt und in die Lagerung bzw. weitere Auswertung überführt wurden. An 3 Tagen wurde für je eine unterschiedliche Verwertung der Fische geschlachtet. Am ersten Tag gingen 60 Fische in die Rohnährstoffanalyse und wurden bei -80°C eingelagert. 82 Fische wurden am zweiten Tag für die Fleischqualitätsanalyse bei -60°C eingefroren und 96 Fische wurden am dritten Tag bei -20°C eingefroren um anschließend sensorisch ausgewertet zu werden.

Für die Rohnährstoffanalyse wurden die dafür vorgesehenen Filets gefriergetrocknet und jeweils das rechte bzw. linke mittels der Weender Analyse auf Trockenmasse, Rohprotein, Rohfett und Rohasche untersucht. Das Filet der anderen Seite wurde mittels Gaschromatographie auf das Fettsäurenmuster untersucht (FAME).



Abbildung 2: Gläser mit Forellenfiletstücken (Bild: Claire Siebenmorgen)

Zur Erhebung von physikalischen Fleischqualitätsparametern wurde der pH-Wert nach 45 Minuten und 24 Stunden jeweils rechts und links an den Restfilets der Köpfe aller 238 Fische gemessen. Damit soll erkennbar werden inwieweit sich der pH-Wert in der Zwischenzeit abgesenkt hat und Aussagen über die postmortale Stoffwechselaktivität sowie Lagerfähigkeit und Frische des Produktes ermöglichen. Des Weiteren wurden Filets der 82 Fische des zweiten Schlachttages herangezogen. Diese wurden über Nacht bei +4°C aufgetaut. Der Kochverlust wurde durch Wiegung vor und nach sous-vide Kochen (d.h. im Vakuumbbeutel) in einem Wasserbad mit 70°C bestimmt und soll Aufschluss über das Wasserhaltevermögen des Fleisches geben. Aus den gekochten Filets wurden Rechtecke ausgeschnitten (7x5 cm) und gewogen; zur Bestimmung der Textur wurde eine Scheranalyse durchgeführt. Die Erfassung der Scherkräfte erfolgte in einer Kramer Scherzelle über den Texture Analyzer. Hierbei wird ermittelt welche Kraft pro Gewichtseinheit (kg/g) notwendig ist um das Gewebe zu durchtrennen. Aus den Messungen lassen sich Rückschlüsse über die Textur bzw. die Bissfestigkeit des Lebensmittels gewinnen.

Im Februar 2024 wurde im Fakultätslabor für Sensorik - und Konsumentenforschung der Universität Göttingen eine sensorische Studie zur quantitativen deskriptiven Analyse (QDA) von Forellen durchgeführt.

Ziel der Untersuchung war es, sensorische Profile von Forellenfilets zu erstellen und zu analysieren, inwiefern unterschiedliche Mengen an WL im Futter die sensorischen Eigenschaften beeinflussen. In sechs Trainingseinheiten (12 h total) wurden neun Panelist*innen auf die Erkennung fischspezifischer sensorischer Attribute trainiert und auf die QDA vorbereitet, die an vier Terminen stattfand. Bewertet wurden Forellenfilets, die im Dampfgarer bei 115 °C für 20 Minuten in verschlossenen Gläsern gegart wurden (3x5 cm große Probenstücke), um den Feuchtigkeitsgehalt zu erhalten (Abb. 2). Die sensorische Bewertung umfasste Attribute für Geruch, Textur, Geschmack, Nachgeschmack und Mundgefühl.



Abbildung 3: Tablett mit Referenzproben für die Panelteilnehmer (Bild: Claire Siebenmorgen)

Zur besseren Einordnung der forellenspezifischen Merkmale während des Trainings wurde zu Beginn ein Vergleich mit Lachs, Heilbutt, Thunfisch und Dorade durchgeführt. Insgesamt wurden final 25 sensorische Attribute definiert, die mithilfe von 15 Referenzproben (Abb. 3) dargestellt wurden. Für die Bewertung kam eine 15 cm lange Linien-Skala zum Einsatz (0 cm = geringe Intensität/"0 %", 15 cm = hohe Intensität/"100 %"). Um Vergleichbarkeit sicherzustellen, bezogen sich alle Panelistinnen während des Trainings auf eine standardisierte Referenzforelle (0 % Wasserlinsenfütterung). Die Referenzen wurden – mit Ausnahme der Aromalösungen und Geruchsstreifen – in 50 ml Duran®-Bechern (DWK Life Sciences, Wertheim) präsentiert, Aromalösungen in 25 ml Einwegbechern von Melipul® (SCHWARZ, Isny). Vor jeder Session fand eine 5-minütige Kalibrierungsphase statt. Für die Bewertung wurden 12

Fische aus jeder Gruppe verkostet. Die Proben wurden in einem vollständig randomisierten Design innerhalb eines balancierten Versuchsplans mit dreistelligen Codes präsentiert, um Reihenfolge- und Positionseffekte zu kontrollieren. Die Datenerhebung wurde mithilfe der Software EyeQuestion (Version 5.2, Elst, Niederlande) durchgeführt.

Ergebnisse

Tab. 3: Wachstumsparameter der Fütterungsgruppen im Vergleich

| | Versuchsgruppen | | | |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | K | WL10 | WL15 | WL20 |
| Startgewicht (g) | 62,8 ± 7,3 | 63,2 ± 5,5 | 62,6 ± 7,8 | 63,0 ± 7,1 |
| Endgewicht (g) | 334,9 ± 53,8 ^a | 310,1 ± 51,5 ^b | 287,7 ± 43,9 ^c | 275,3 ± 29,3 ^c |
| Futtermenge (g) | 5036,5 | 4867,9 | 4630,9 | 4482,4 |
| Zuwachs (g) | 579,9 ± 378,5 | 548,6 ± 352,7 | 500,3 ± 313,0 | 471,9 ± 297,1 |
| Futterverwertung (FCR) | 0,95 ± 0,24 | 0,96 ± 0,16 | 1,04 ± 0,34 | 1,1 ± 0,37 |
| Körperlänge (mm) | 275,1 ± 15,45 ^a | 272,9 ± 9,27 ^a | 264,8 ± 12,09 ^b | 260,8 ± 10,66 ^b |
| Filetgewicht (g) | 72,3 ± 13,11 ^a | 68,7 ± 9,68 ^b | 61,5 ± 10,04 ^c | 59,8 ± 7,68 ^c |

Die Werte von Endgewicht, Zuwachs, Futterverwertung und Filetgewicht sind Mittelwerte mit Standardabweichungen, gefolgt von unterschiedlichen Buchstaben in der gleichen Reihe sind sie signifikant unterschiedlich auf dem Level $p < 0,05$ (Tukey's test)

Die Daten aus Tabelle 3 zeigen Wachstumsparameter aus dem Forellen-Fütterungsversuch. Das Startgewicht war in allen Gruppen annähernd gleich und wies keine signifikanten Unterschiede auf. Das Endgewicht der Gruppen war in K am höchsten und absteigend mit zunehmendem WL-Anteil in der Ration in WL20 am niedrigsten. Zwischen den Gruppen sind die Unterschiede signifikant, mit Ausnahme der Werte zwischen WL15 und WL20. Die aufgenommene Futtermenge bezieht sich auf die in einer Fütterungsgruppe über den gesamten Versuchsverlauf gefütterte und aufgenommene Futtermenge. Da die Futtermengen laufend prozentual an die steigenden Schnittgewichte angepasst wurden, bekamen die stärker wachsenden Gruppen automatisch mehr Futter zugeteilt als die langsamer wachsenden. Der Zuwachs beschreibt die Masse, welche die Fische zwischen zwei Wiegungen zugenommen haben. Die Futterverwertung (Feed conversion ratio, FCR) errechnet sich aus dem Zuwachs und der dafür benötigten Menge an Futter. Eine niedrige FCR weist auf eine höhere Zunahmeleistung hin als ein hoher Wert. Die Körperlängen bei der Schlachtung sind zwischen den Gruppen signifikant unterschiedlich. WL15 und WL20 sind kürzer als K und WL10, wohingegen es zwischen K und WL10 sowie zwischen WL15 und WL20 einen Unterschied gibt, der jedoch nicht signifikant ist. Das Filetgewicht von K ist signifikant ($p = 0,0432$) höher als WL10 und signifikant ($p < 0,0001$) höher als WL15 und WL20. Außerdem ist das Filetgewicht von WL10 signifikant ($p < 0,0001$) höher als WL15 und WL20. Zwischen WL15 und WL20 besteht kein signifikanter Unterschied ($p = 0,5760$).

Inhaltsstoffe

Die Inhaltsstoffanalyse der Forellenfilets zeigt Unterschiede zwischen den Gruppen auf. In Abbildung 4 lässt sich graphisch ein geringerer Gehalt an Trockensubstanz mit zunehmendem WL-Anteil erkennen. Der Gehalt an Rohprotein ist in Abbildung 5 dargestellt und steigt mit zunehmendem WL-Anteil in der Ration. Abbildung 6 beschreibt den Rohfettgehalt und weist einen klaren Trend zum niedrigeren Fettgehalt mit steigendem WL-Anteil in der Ration auf. Der Rohaschegehalt ist in Abbildung 7 abgebildet, hier steigt der Gehalt mit höherem WL-Anteil. Auffällig ist, dass in allen vier analysierten Inhaltsstoffen nur der Unterschied zwischen K und WL20 statistisch signifikant ist ($p < 0,05$).

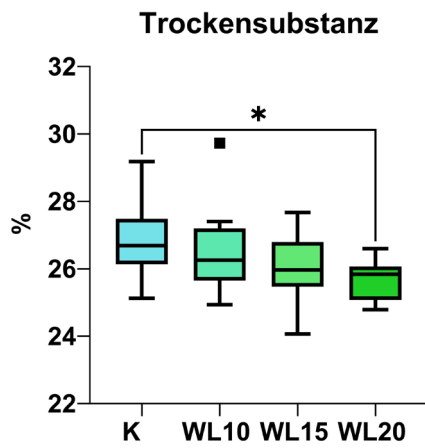


Abb. 4: Trockensubstanzgehalt (%) Forellenfilets

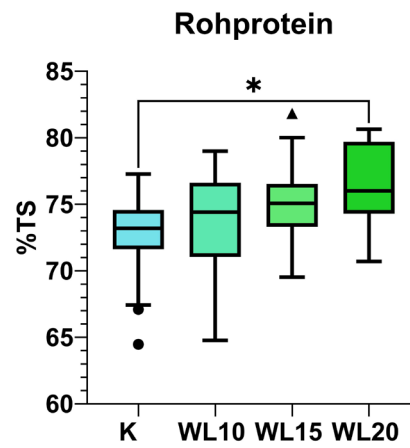


Abb. 5: Rohproteingehalt (% TS) Forellenfilets

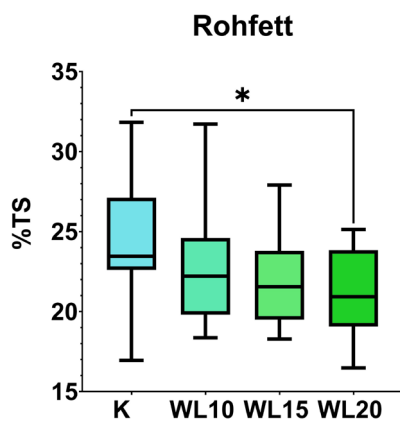


Abb. 6: Rohfettgehalt (% TS) Forellenfilets

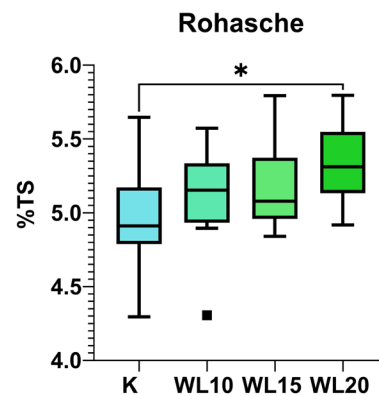


Abb. 7: Rohaschegehalt (% TS) Forellenfilets

Fettsäurenmuster im intramuskulären Fett (FAME)

Die Ergebnisse der Fettsäurenanalyse (FAME) der Forellenfilets sind in Tabelle 4 dargestellt. Auffällig sind die signifikant höheren Gehalte an Alpha-Linolensäure (ALA) in WL15 und WL20 im Vergleich zu K und WL10. Docosahexaensäure (DHA) und Linolsäure ist in allen mit WL gefütterten Gruppen im Vergleich mit K erhöht. Das Verhältnis der Omega3- und Omega6-Fettsäuren ist in K höher als in den Gruppen mit WL. Bei WL10 und WL20 ist dieser Unterschied auch signifikant.

Tab. 4: Gehalt der häufigsten Fettsäuren (%) in den Forellenfilets (Angaben in % aller detektierten Fettsäuren)

| Fettsäure | Gruppe | | | |
|--|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | K(n=15) | WL10(n=15) | WL15(n=15) | WL20(n=15) |
| C16:0 Palmitinsäure | 12,84 ± 0,68 ^a | 12,20 ± 0,36 ^b | 11,67 ± 0,52 ^c | 11,63 ± 0,37 ^c |
| C18:0 Stearinsäure | 2,45 ± 0,13 ^a | 2,426 ± 0,13 ^{ac} | 2,257 ± 0,18 ^b | 2,346 ± 0,1 ^{bc} |
| C16:1n-7 Palmitoleinsäure | 3,27 ± 0,53 ^a | 2,49 ± 0,30 ^b | 2,11 ± 0,24 ^c | 1,97 ± 0,14 ^d |
| C18:1n-9 Ölsäure | 38,21 ± 0,95 ^a | 37,21 ± 1,11 ^b | 37,53 ± 1,11 ^b | 37,61 ± 1,41 ^b |
| C20:1n-9 Gadoleinsäure | 3,06 ± 0,22 | 3,05 ± 0,18 | 3,09 ± 0,22 | 3,03 ± 0,25 |
| C18:3n-3 Alpha-Linolensäure (ALA) | 2,88 ± 0,20 ^a | 3,16 ± 0,15 ^b | 3,39 ± 0,16 ^c | 3,41 ± 0,24 ^c |
| C22:6n-3 Docosahexaensäure (DHA) | 7,81 ± 1,21 ^a | 8,9 ± 1,11 ^b | 8,77 ± 1,05 ^b | 9,15 ± 1,37 ^b |
| C18:2n-6 Linolsäure | 12,76 ± 0,37 ^a | 13,15 ± 0,44 ^b | 13,81 ± 0,59 ^c | 13,75 ± 0,59 ^c |
| SFA | 17,35 ± 0,84 ^a | 16,66 ± 0,44 ^b | 15,95 ± 0,71 ^c | 15,98 ± 0,42 ^c |
| MUFA | 45,01 ± 1,23 ^a | 42,98 ± 1,21 ^b | 43,09 ± 1,32 ^b | 43,15 ± 1,41 ^b |
| PUFA | 27,75 ± 2,55 ^a | 29,11 ± 1,65 ^b | 29,86 ± 1,52 ^b | 30,33 ± 0,85 ^b |
| n3-PUFA | 12,49 ± 1,36 ^a | 14,00 ± 1,37 ^b | 14,15 ± 1,2 ^b | 14,56 ± 1,54 ^b |
| n6-PUFA | 14,10 ± 0,76 ^a | 15,11 ± 0,48 ^b | 15,72 ± 0,58 ^c | 15,68 ± 0,52 ^c |
| n6/n3 | 1,19 ± 0,1 ^a | 1,09 ± 0,09 ^b | 1,12 ± 0,09 ^{ab} | 1,08 ± 0,15 ^b |

Werte sind Mittelwerte mit Standardabweichungen, gefolgt von unterschiedlichen Buchstaben in der gleichen Reihe sind sie signifikant unterschiedlich auf dem Level $p < 0,05$ (Tukey's test). SFA=saturated fatty acids (gesättigte Fettsäuren); MUFA=mono unsaturated fatty acids (einfach ungesättigte Fettsäuren); PUFA=poly unsaturated fatty acids (mehrfach ungesättigte Fettsäuren); n3-PUFA=Omega3-PUFA; n6-PUFA=Omega6-PUFA

Farbmessung Haut

Abbildungen 8-10 stellen die Ergebnisse der Farbmessung auf der Haut dar. Abbildung 4 zeigt signifikant erhöhte Grünwerte in WL10, WL15 und WL20 im Vergleich mit K. Zwischen den Zulagestufen sind die Unterschiede nicht signifikant. Abbildung 5 weist signifikante Unterschiede zwischen allen Gruppen auf. Der Unterschied unterstützt einen höheren Gelbanteil in der Hautfärbung mit steigendem WL-Anteil. So ist der Unterschied zwischen K und WL10 mit $p < 0,001$ geringer als zwischen K und WL15 sowie K und WL20 mit $p < 0,0001$. Die Helligkeit der Haut ist signifikant ($p < 0,01$) höher in K als in WL10 und WL15. Unterschied zwischen K und WL20 ist nicht erkennbar.

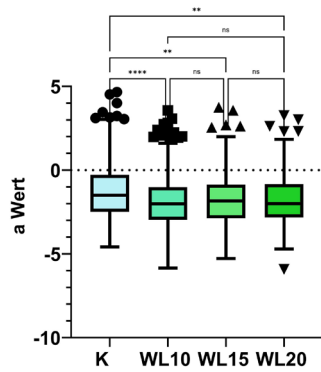


Abb. 8: a Wert der Forellenhaut

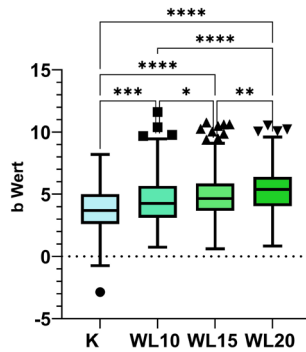


Abb. 9: b Wert Forellenhaut

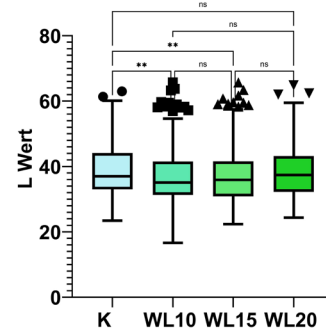


Abb. 10: L*Wert Forellenhaut

a Wert: Rot(+)/Grün(-); b Wert: Gelb(+)/Blau(-), L Wert: Helligkeit. **** $p < 0,0001$; *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Filetfarbe

Auf Abbildung 11 sind optische Unterschiede in der Farbgebung erkennbar, die sich auch in den Messwerten widerspiegeln. Abbildung 12 zeigt K signifikant geringer als WL10-20 und weist auf mehr grün und weniger rot in K hin. Zwischen den Zulagestufen ist kein signifikanter Unterschied vorhanden. Der b Wert ist in Abbildung 13 dargestellt und in K signifikant ($p < 0,0001$) niedriger als in allen Zulagestufen. Auch zwischen den Zulagestufen ist der Unterschied mit steigendem WL-Anteil signifikant höher, mit Ausnahme zwischen WL15 und WL20, dort ist kein Unterschied messbar. Der Gelbanteil ist also in den mit WL gefütterten Gruppen deutlich höher. Der L-Wert für die Helligkeit in Abbildung 14 ist in WL20 signifikant ($p < 0,01$) geringer als in WL15 und WL20 und ebenfalls signifikant ($p < 0,001$) geringer als in K und damit dunkler.



Abb.: 11: Farbunterschied der Forellenfilets. Von rechts nach links: K, WL10, WL15, WL20

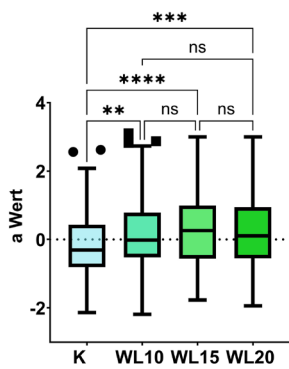


Abb. 12: a*Wert Forellenfilets

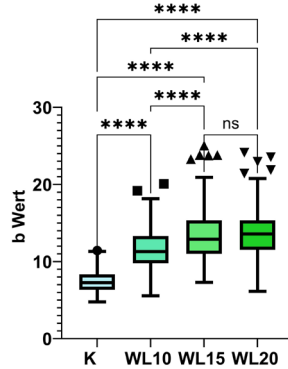


Abb. 13: b*Wert Forellenfilets

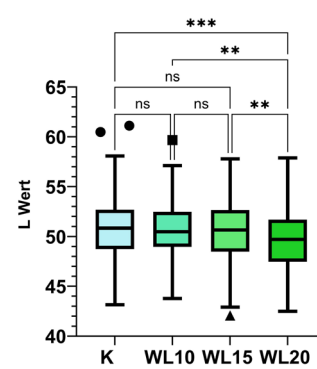


Abb. 14: L*Wert Forellenfilets

a Wert: Rot(+)/Grün(-); b Wert: Gelb(+)/Blau(-), L Wert: Helligkeit. **** $p < 0,0001$; *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Physikalische Fleischqualitätsparameter

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Fleischqualitätsanalyse aller Gruppen dargestellt. Die Scherkraft ist in WL15 am höchsten und in WL10 am niedrigsten, WL20 liegt höher als K und WL10. Ein nicht signifikanter Trend zu höherer Scherkraft mit steigendem WL-Anteil ist erkennbar. Der Kochverlust ist in K am höchsten und in WL10 am niedrigsten. Zwischen keiner der Gruppen sind signifikante Unterschiede feststellbar ($p > 0,05$). Die prozentuale pH-Wert Absenkung liegt in K höher als in den Zulagestufen, der Unterschied ist nicht signifikant ($p > 0,05$). Auch zwischen den Zulagestufen zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 5: Physikalische Fleischqualitätsparameter der Forellenfilets im Vergleich der Gruppen

| Parameter | K(n=19) | WL10(n=21) | WL15(n=21) | WL20(n=21) |
|-------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| Scherkraft (Kg/g) | 0,568 ± 0,082 | 0,56 ± 0,095 | 0,573 ± 0,077 | 0,57 ± 0,065 |
| Kochverlust (%) | 16,05 ± 1,18 | 15,67 ± 1,04 | 15,85 ± 1,01 | 15,82 ± 1,05 |
| pH-Absenkung (%) | 3,58 ± 2,49 | 3,01 ± 2,28 | 3,04 ± 2,32 | 3,2 ± 1,94 |

Werte sind Mittelwerte mit Standardabweichungen. Signifikant bei $p < 0,05$ (Tukey's test)

Sensorik

Die QDA zeigte, dass sich bei einigen sensorischen Merkmalen signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Forellenfilets feststellen ließen. Besonders auffällig waren kleine, jedoch signifikante Unterschiede in der Texturwahrnehmung bei Forellen, die mit 10 % WL im Futter supplementiert wurden: Diese wurden signifikant als teigiger ($p = 0,027$), zäher ($p = 0,094$) und mit einem Trend zu höherer Festigkeit ($p = 0,053$) bewertet (Abbildung 15). Diese Ergebnisse deuten auf eine veränderte Texturwahrnehmung durch die Futterzusammensetzung hin.

Auch wenn viele Geruchs- und Geschmacksattribute keine signifikanten Unterschiede zwischen den Produkten aufwiesen (z. B. „fischig“, „erdig“, „umami“), war die Reproduzierbarkeit und Diskriminierungsfähigkeit des Panels durchweg hoch, wie die signifikanten Unterschiede zwischen den Panelistinnen bei nahezu allen Attributen ($p < 0,001$) belegen. Replikationseffekte und Interaktionen zwischen Produkt und Replikation zeigten hingegen in der Regel keine signifikanten Einflüsse, was auf eine stabile Durchführung der sensorischen Tests schließen lässt. Insgesamt lässt sich ein klares sensorisches Profil der Forellenfilets ableiten. Die signifikanten Unterschiede in der Textur legen nahe, dass die Supplementierung mit WL messbare Auswirkungen

auf die sensorische Wahrnehmung hat. Diese Unterschiede könnten für die weitere Produktentwicklung und Vermarktung (z. B. als nachhaltige oder regionale Fischprodukte) von besonderem Interesse sein.

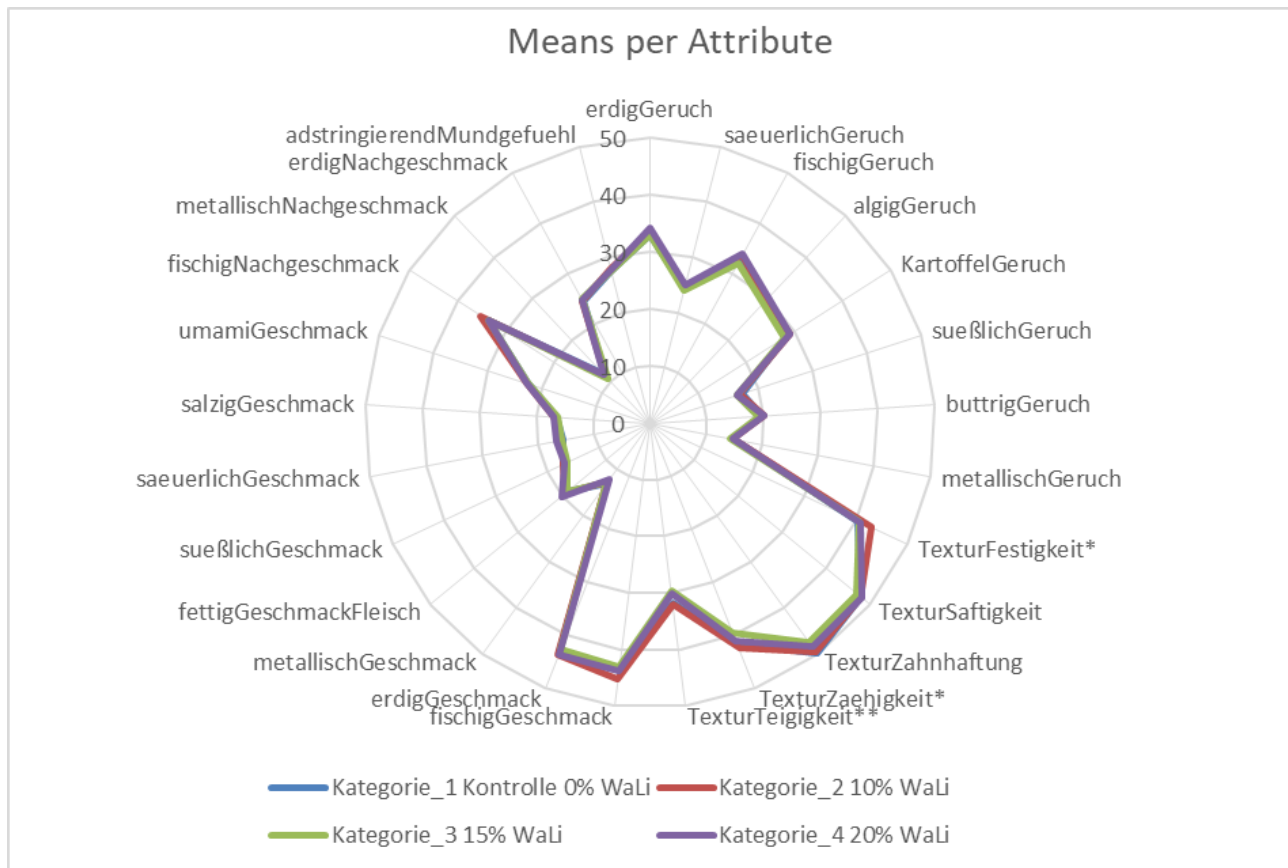


Abb. 15: Mittlere Intensitätswerte der sensorischen Attribute (QDA) von Forellenfilets aus vier Fütterungsgruppen mit unterschiedlichen Anteilen an WL (0 %, 10 %, 15 % und 20 %) bewertet auf einer 100 % - Intensitätsskala. Mit einem Stern (*) markierte Attribute zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p < 0,05$).

Nächste Schritte

Geplant ist die Veröffentlichung des durchgeführten Versuches in wissenschaftlichen Fachzeitschriften und die Vorstellung auf nationalen und internationalen Tagungen. Außerdem ist die Verwendung der Daten zur Erstellung einer Dissertation geplant.

Aufgrund der Ergebnisse, welche einen Abfall der Wachstumsleistung mit steigendem WL-Anteil in der Ration bei Forellen zeigen, ergeben sich weiterführende Forschungsfragen. Obwohl die Schätzung der Bruttoenergie der unterschiedlichen Rationen annähernd gleiche Werte ergab, weisen die Ergebnisse darauf hin, dass die WL-haltigen Diäten weniger effizient verstoffwechselt wurden. An dieser Stelle wäre eine Studie zur Verdaulichkeit von WL bei Fischen interessant sowie eine Analyse auf antinutritive Inhaltsstoffe.

Die augenscheinlichen und gemessenen Farbunterschiede im Forellenfilet werfen die Frage auf, ob die veränderte Farbgebung positiv oder negativ von Konsumenten bewertet wird und ob Carotinoide die Effekte verursachen, was ein Hinweis auf ein vitaminhaltigeres Lebensmittel wäre.

3.2 Fütterungsversuch Karpfen

Versuchsbeschreibung

Von Januar bis April 2024 fand an der Georg-August-Universität Göttingen ein 14-wöchiger (17.01.-23.04-2024) Fütterungsversuch mit Karpfen (*Cyprinus carpio*, Abbildung 16) statt. Karpfen sind nach der Forelle die in deutschen Teichwirtschaften am zweithäufigsten produzierten Speisefische. Sie nutzen, im Gegensatz zu den auf tierische Nahrung spezialisierten Forellen, ein breiteres Nahrungsspektrum und werden daher auch als Omnivoren bezeichnet. Der Versuch zielte darauf ab zu bewerten welche Veränderungen die Verfütterung von WL auf die Speisefische mit sich bringen. Der Karpfenversuch wurde im Zuge desselben Tierversuchsantrages mit der Kennziffer 33.9-42502-04-22-00064 vom LAVES genehmigt und fand in derselben rezirkulierenden Aquakulturanlage statt. Der Versuchsaufbau entsprach ebenfalls dem vorangegangenen Forellen-Fütterungsversuch. Demzufolge wurden 240 Karpfen auf 12 Becken aufgeteilt, diese waren 4 Versuchsgruppen mit je 3 Wiederholungen von 20 Tieren zugeordnet. Die für den Versuch eingesetzten Fische wurden von dem Betrieb Aschauteiche in Eschede gezüchtet und waren einsommerige Karpfen (K1) mit einem durchschnittlichen Gewicht von $73,4 \pm 7,6\text{g}$. Die Karpfen wurden täglich per Hand und per Futterautomat mit 4 verschiedenen Diäten gefüttert. Kontrollgruppe (K) 1 erhielt eine Diät ohne WL, die Versuchsgruppen erhielten Diäten mit 10% (WL10), 15% (WL15) und 20% (WL20) WL-Gehalt. Die eingesetzte Futtermenge entsprach in der ersten Versuchswoche 1,5%, in der zweiten 1,75%, in der dritten 2% und nach dieser Adaptationsphase ab der vierten Woche bis zum Ende des Versuches 2,5% der Fischlebensmasse. Auf diese Weise stieg die gegebene Futtermenge schrittweise an, die Karpfen konnten sich an das neue Futter gewöhnen und zeigten im weiteren Versuchsablauf keine Probleme bei der Futterakzeptanz. In den ersten zwei Versuchswochen wurden die Fische einmal wöchentlich gewogen und das aktuelle Lebendgewicht erfasst. Danach erfolgten die Wiegungen im zweiwöchentlichen Rhythmus. Die Futtermengen wurden nach jeder Wiegung an das aktuelle Gewicht angepasst und vollständig aufgenommen.



Abb. 16: Versuchskarpfen (Bild: Simon Rosenau)

Die Konzeption der Versuchsfuttermittel erfolgte mit dem Ziel trotz der Inhaltsstoffe in unterschiedlichen Zusammensetzungen einen nahezu gleichen Energie- und Proteingehalt zu erreichen. WL wurden den Rationen im Austausch von Fischmehl und Sojaproteinkonzentrat beigelegt (Tabelle 5). Die für die Herstellung der Versuchsfuttermittel eingesetzten WL der Arten *Lemna minor* und *Spirodela polyrhiza* wurden von dem Projektpartner NOVAgreen in getrockneter Form geliefert und an der Universität Göttingen in einer Schneidmühle (Firma Retsch, SM300) mit einem 0,5mm Sieb zu Mehl vermahlen und anschließend analysiert (Tabelle 6). Die übrigen Futterkomponenten wurden über den Online Versandhandel bestellt und im Haus analysiert. Die Futterherstellung fand bei der Firma Amandus Kahl in Reinbek statt. Zur Herstellung des Karpfenfutters wurde das gleiche Verfahren wie für den Forellenversuch genutzt.

| <i>Diäten</i> | K | WL10 | WL15 | WL20 |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Zutaten in % TM</i> | | | | |
| Wasserlinsenmehl | 0 | 10 | 15 | 20 |
| Fischmehl | 20 | 15 | 13 | 11 |
| Sojamehl, entfettet | 20 | 15 | 13 | 11 |
| Maismehl | 15 | 16 | 9 | 7 |
| Weizengluten | 7 | 11 | 12 | 13 |
| Weizenmehl | 25 | 20 | 25 | 25 |
| Rapsöl | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Fischöl | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Vit-Amino-Mix | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Zusammensetzung in % TM</i> | | | | |
| Rohprotein | 34,8 | 34,5 | 34,6 | 35,4 |
| Rohfett | 15,4 | 14,5 | 13,8 | 13,8 |
| Rohfaser | 1,1 | 2,2 | 3,1 | 3,4 |
| NDF | 11,2 | 13,2 | 14,2 | 14,4 |
| ADF | 1,5 | 2,8 | 3,8 | 4,8 |
| Rohasche | 6,5 | 6,3 | 6,4 | 6,9 |
| Stärke | 30,9 | 30,0 | 28,4 | 25,3 |
| Zucker | 2,8 | 2,4 | 2,2 | 1,9 |
| <i>Energiegehalt (MJ/Kg TM)</i> | | | | |
| Bruttoenergie ¹ | 21,75 | 21,55 | 21,39 | 21,37 |
| Verdauliche Energie ² | 17,45 | 17,21 | 17,05 | 17,08 |

Tab. 6: Zusammensetzung der vier im Karpfenfütterungsversuch eingesetzten Diäten mit Analyseergebnissen aus der Rohnährstoffanalyse

Abkürzungen: NDF=Neutral-Detergenzien-Faser, ADF=Säure-Detergenzien-Faser

¹Schätzung: Protein = 23,6 MJ/Kg TM; Fett = 39,5 MJ/Kg TM; Stickstofffreie Extraktstoffe = 17,2 MJ/Kg

TM (NRC, 2011; Blaxter, 1989)

²Schätzung: Protein = 20,9 MJ/Kg TM; Fett = 35,1 MJ/Kg TM; Kohlenhydrate = 11,0 MJ/Kg TM (Verweis auf Bailey & Alanärä, 2006)

Tab. 7: Rohnährstoffe und Aminosäurenmuster der für die Karpfendiäten eingesetzten WL

| Rohnährstoffe | |
|----------------------|--------------------|
| Trockenmasse (%) | 90,8 |
| Rohprotein (% TM) | 22,5 |
| Rohfett (% TM) | 2,0 |
| Rohfaser (% TM) | 16,7 |
| Rohasche (% TM) | 19,4 |
| Aminosäuren | % von 100g Protein |
| Lysin | 5,73 |
| Methionin | 1,52 |
| Cystein | 1,26 |
| Threonin | 4,22 |
| Valin | 5,59 |
| Isoleucin | 4,12 |
| Leucin | 7,93 |
| Tyrosin | 3,29 |
| Phenylalanin | 4,71 |
| Histidin | 1,88 |
| Arginin | 5,61 |

Die Schlachtung erfolgte analog zu dem Forellenversuch an drei Tagen mit der gleichen Zuordnung zu den verschiedenen Verwendungen – Inhaltsstoffanalyse, physikalische Fleischqualitätsparameter und Sensorik.

Im Mai 2024 wurde im Sensoriklabor der Abteilung für Produktqualität tierischer Erzeugnisse an der Georg-August-Universität Göttingen eine quantitative deskriptive Analyse (QDA) an Karpfenfilets durchgeführt. Ziel der Untersuchung war es, sensorische Unterschiede zwischen vier Fütterungsgruppen herauszuarbeiten. Dafür kam ein geschultes Panel zum Einsatz, das die Proben hinsichtlich sensorischer Eigenschaften bewertete.



Abb. 17: Bleche mit zubereiteten Karpfenfischbällchen

Zur Verkostung wurden aus den Karpfenfilets Fischbällchen (da die Filets sehr grätenlastig waren) hergestellt. Die Herstellung erfolgte nach einem standardisierten Rezept: Nach dem Wiegen der (halbgefrorenen) Karpfenfilets wurden pro 100 g Fisch 0,5 g Salz und 30 g Sahne hinzugegeben. Die Zutaten wurden in einem Thermomix zunächst 10 Sekunden auf Stufe 8 und anschließend 6 Sekunden auf Stufe 5 zerkleinert. Wichtig war dabei, die Masse nicht zu lange zu verarbeiten, um eine stabile Bindung zu gewährleisten. Anschließend wurde die Masse mit einem Spritzbeutel zu Bällchen (4–5 g) portioniert und im Kombidämpfer bei 80 °C für 5 Minuten gegart (Abbildung 17)



Abb. 18: Tablett mit Referenzproben für die sensorische Beurteilung

In einem zehnstündigen Training wurden die neun Panelist*innen auf die QDA vorbereitet. Dazu gehörte unter anderem ein Vergleich der Karpfenbällchen mit Filets von Lachs, Forelle und Zander, um typische Karpfenattribute besser abgrenzen zu können. Im Konsens wurden 16 sensorische Attribute in den Kategorien Geruch, Geschmack und Nachgeschmack definiert. Diese wurden durch insgesamt 13 geeignete Referenzproben veranschaulicht (Abbildung 18). Zur Bewertung wurde eine 15 cm lange unstrukturierte Linien-Skala verwendet (0 cm = "0 %" = geringe Intensität, 15 cm = "100 %" = hohe Intensität). Um eine einheitliche Orientierung zu gewährleisten, diente während des gesamten Trainings eine standardisierte Referenz (kommerziell gekauftes Karpfenfilet des Lebensmitteleinzelhandels) als Vergleichsbasis. Die Proben wurden in einem vollständig randomisierten Design mit dreistelligen Codes präsentiert, um mögliche Reihenfolgeeffekte zu vermeiden. Die Datenerhebung erfolgte mithilfe der Software EyeQuestion (Version 5.2, Elst, Niederlande).

Ergebnisse und Auswertung

Die Daten aus Tabelle 8 zeigen Wachstumsparameter aus dem Karpfen-Fütterungsversuch. Das Startgewicht war in allen Gruppen annähernd gleich und wies keine signifikanten Unterschiede auf. Das Endgewicht der Gruppen war in K am höchsten und in WL15 am niedrigsten. Die Unterschiede von K zu den Versuchsgruppen sind signifikant, wohingegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen auftreten. Auffällig ist hier, dass es im Gegensatz zum Forellenversuch kein sinkendes Endgewicht mit steigendem WL-Anteil in der Ration gibt, sondern nahezu keine Unterschiede zwischen den Zulagestufen. Die aufgenommene Futtermenge bezieht sich auf die in einer Fütterungsgruppe über den gesamten Versuchsverlauf gefütterte und aufgenommene Futtermenge. Da die Futtermengen laufend prozentual an die steigenden Schnittgewichte angepasst wurden, bekamen die stärker wachsenden Gruppen automatisch mehr Futter zugeteilt als die langsamer wachsenden. Der Zuwachs beschreibt die Masse, welche die Fische zwischen zwei Wiegungen zugenommen haben, entsprechend der Endgewichte verzeichnet K die höchsten Zuwächse und WL15 die niedrigsten. Die Futterverwertung (Feed conversion ratio, FCR) errechnet sich aus dem Zuwachs und der dafür benötigten Menge an Futter. Eine niedrige FCR weist auf eine höhere Zunahmemeistung hin als ein hoher Wert. Die Unterschiede in der FCR entsprechen der Verteilung des Endgewichts, da K die geringste FCR aufweist und WL15 die höchste. Bei den Körperlängen ist auffällig, dass WL20 hier den höchsten Wert aufweist und dieser sogar signifikant über den anderen Versuchsgruppen und K liegt. WL15 weist hier wieder den niedrigsten Wert auf, die übrigen Unterschiede sind nicht signifikant. Das Filetgewicht von K ist signifikant höher als in allen Versuchsgruppen und entsprechend dem Endgewicht sind die Unterschiede zwischen den Zulagestufen nicht signifikant.

Tab. 8: Wachstumsparameter aus dem Karpfen-Fütterungsversuch.

| | K (n=60) | WL10 (n=60) | WL15 (n=60) | WL20 (n=60) |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Startgewicht (g) | 73,4 ± 8,5 | 72,6 ± 7,2 | 73,7 ± 6,8 | 73,9 ± 7,9 |
| Endgewicht (g) | 366,6 ± 59,7 ^a | 338,7 ± 45,4 ^b | 332,6 ± 43,0 ^b | 335,8 ± 48,3 ^b |
| Futtermenge (g) | 8938,1 | 8530,9 | 8377,4 | 8368,4 |
| Zuwachs (g) | 651,8 ± 427 | 591,6 ± 404,5 | 575,7 ± 403,4 | 582,1 ± 392,9 |
| Futtermverwertung (FCR) | 1,44 ± 0,33 | 1,55 ± 0,47 | 1,7 ± 0,89 | 1,63 ± 0,56 |
| Körperlänge (mm) | 224,6 ± 10,3 ^a | 223 ± 8,8 ^a | 223,3 ± 8,7 ^a | 229,5 ± 9,5 ^b |
| Filetgewicht (g) | 58,1 ± 12,3 ^a | 53,7 ± 9,7 ^b | 52,5 ± 9,1 ^b | 52,5 ± 9,9 ^b |

Werte sind Mittelwerte mit Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben in einer Reihe weisen auf signifikante Unterschiede hin ($p < 0,05$; Tukey's Test)

Inhaltsstoffe

Die Ergebnisse der Inhaltsstoffanalyse der Karpfenfilets (n=60) sind in Abbildungen 19-22 dargestellt. Die Werte weisen durchweg ähnliche Trends wie im Forellen-Fütterungsversuch auf. Trockensubstanz und Rohfett-Gehalt fallen mit steigendem WL-Anteil in der Ration niedriger aus, dementsprechend sind sie in WL20 am niedrigsten und in K am höchsten. Wohingegen Rohprotein und Rohasche in WL20 am höchsten sind und in K am niedrigsten ausfallen. Auffällig ist, dass analog zu den Ergebnissen aus dem Forellenversuch nur die Unterschiede zwischen K und WL20 statistisch signifikant sind ($p < 0,05$).

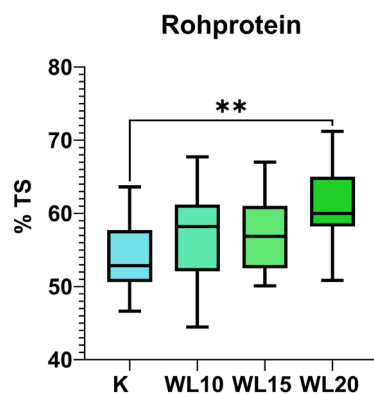


Abb. 19: Rohproteingehalt (% TS) Karpfenfilet

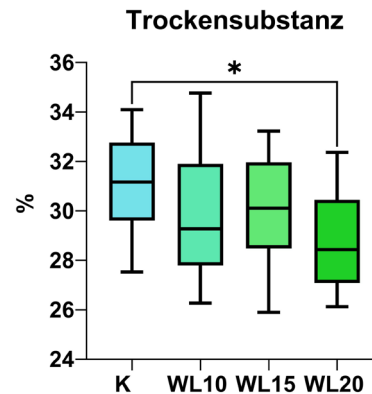


Abb. 20: Trockensubstanzgehalt (%) Karpfenfilet

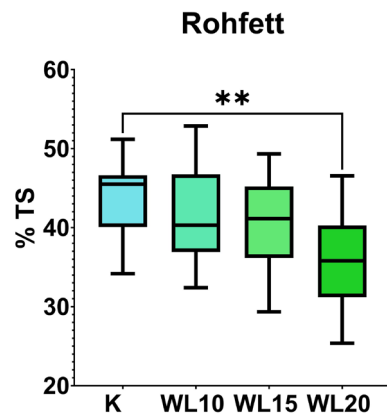


Abb. 21: Rohfettgehalt (% TS) Karpfenfilet

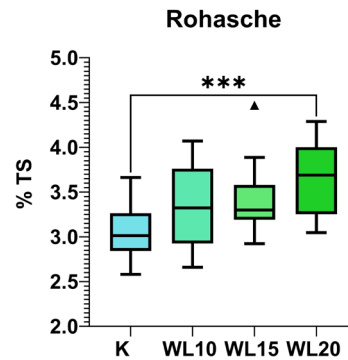


Abb. 22: Rohaschegehalt (% TS) Karpfenfilet

Fettsäurenmuster im intramuskulären Fett (FAME)

Tab. 9: Gehalt der häufigsten Fettsäuren (%) in den Forellenfilets (Angaben in % aller detektierten Fettsäuren)

| Fettsäure | Gruppe | | | |
|---|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | K (n=15) | WL10 (n=15) | WL15 (n=15) | WL20 (n=15) |
| C16:0 Palmitinsäure | 13,55 ± 0,92 | 13,29 ± 0,89 | 13,47 ± 0,99 | 13,49 ± 1,28 |
| C18:0 Stearinsäure | 3,72 ± 0,46 ^a | 3,82 ± 0,34 ^{ab} | 3,87 ± 0,37 ^{ab} | 3,56 ± 0,30 ^{ac} |
| C16:1n-7 Palmitoleinsäure | 5,23 ± 0,46 ^a | 4,78 ± 0,32 ^b | 4,74 ± 0,41 ^b | 4,82 ± 0,46 ^b |
| C18:1n-9 Ölsäure | 46,65 ± 1,05 ^a | 46,67 ± 1,43 ^a | 45,68 ± 1,55 ^b | 45,53 ± 1,65 ^b |
| C20:1n-9 Gadoleinsäuren | 4,37 ± 0,26 ^a | 4,45 ± 0,25 ^{ac} | 4,47 ± 0,23 ^{ac} | 4,54 ± 0,29 ^{bc} |
| C18:3n-3 Alpha-Linolensäure (ALA) | 2,52 ± 0,30 ^a | 2,51 ± 0,31 ^{ab} | 2,78 ± 0,15 ^c | 3,03 ± 0,23 ^d |
| C22:6n-3 Docosahexaensäure (DHA) | 3,30 ± 0,28 | 3,30 ± 0,27 | 3,27 ± 0,35 | 3,40 ± 0,29 |
| C18:2n-6 Linolsäure | 9,21 ± 0,29 ^a | 9,84 ± 0,48 ^{bc} | 10,05 ± 0,43 ^{cd} | 10,18 ± 0,46 ^d |
| SFA | 18,88 ± 1,06 | 18,69 ± 1,06 | 18,97 ± 1,20 | 18,66 ± 1,45 |
| MUFA | 56,35 ± 0,09 ^a | 56,02 ± 1,50 ^a | 55,07 ± 1,48 ^b | 54,98 ± 1,50 ^b |
| PUFA | 17,58 ± 0,75 ^a | 18,24 ± 0,87 ^b | 18,63 ± 0,75 ^b | 19,19 ± 0,77 ^c |
| n3-PUFA | 7,11 ± 0,51 ^a | 7,03 ± 0,46 ^a | 7,31 ± 0,42 ^{ab} | 7,58 ± 0,45 ^b |
| n6-PUFA | 10,48 ± 0,37 ^a | 11,22 ± 0,54 ^b | 11,312 ± 0,57 ^{bc} | 11,61 ± 0,50 ^c |
| n6/n3 | 1,48 ± 0,09 ^a | 1,60 ± 0,09 ^b | 1,55 ± 0,11 ^b | 1,54 ± 0,10 ^{ab} |

Werte sind Mittelwerte mit Standardabweichungen, gefolgt von unterschiedlichen Buchstaben in der gleichen Reihe sind sie signifikant unterschiedlich auf dem Level $p < 0,05$ (Tukey's test). SFA=saturated fatty acids (gesättigte Fettsäuren); MUFA=mono unsaturated fatty acids (einfach ungesättigte Fettsäuren); PUFA=poly unsaturated fatty acids (mehrfach ungesättigte Fettsäuren); n3-PUFA=Omega3-PUFA; n6-PUFA=Omega6-PUFA

Hautfarbe

Optisch sichtbare Farbunterschiede der Versuchskarpfen sind auf Abbildung 23 zu erkennen. Die Ergebnisse der Farbmessung auf der Karpfenhaut nach dem L^*a^*b System sind in Abbildungen 24-26 dargestellt. Der a^* Wert (Abbildung 24) weist bei der höchsten Zulagestufe WL20 die höchste Ausprägung in Richtung grün auf und in K die geringste. Die Unterschiede sind signifikant, nur zwischen WL10 und WL15 besteht kein signifikanter Unterschied. Der b^* Wert (Abbildung 25) ist deutlich mit steigendem WL-Gehalt der Ration in Richtung gelb erhöht, alle Unterschiede sind dabei signifikant. Der L^* wert (Abbildung 26) weist keine signifikanten Unterschiede auf.



Abb. 23: Sichtbare Farbunterschiede der Versuchskarpfen. Oben Karpfen der Gruppe WL20, unten Karpfen der Gruppe K (Bild: Simon Rosenau)

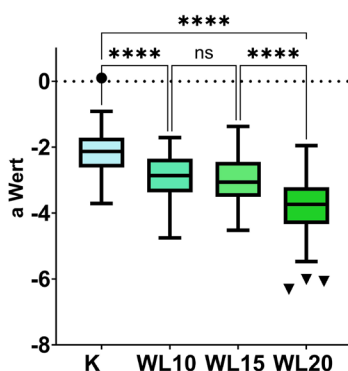


Abb. 24: a^* Wert Karpfenhaut

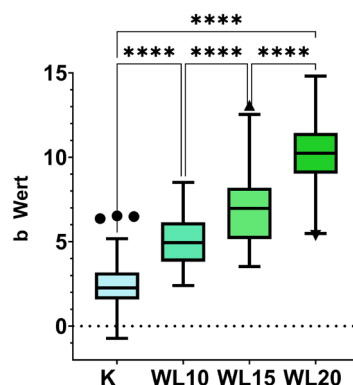


Abb. 25: b^* Wert Karpfenhaut

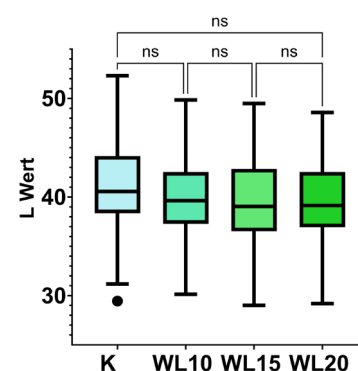


Abb. 26: L^* Wert Karpfenhaut

a^* Wert: Rot(+)/Grün(-); b^* Wert: Gelb(+)/Blau(-), L^* Wert: Helligkeit. **** $p < 0,0001$; *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Filetfarbe

Die Karpfenfilets weisen keine statistisch relevanten Unterschiede beim a*Wert auf (Abbildung 27). Der auf der Haut optisch und messbar auszumachende Trend des b*Wertes ist auch auf den Filets zu erkennen (Abbildung 28). Der Wert steigt mit zunehmendem WL-Gehalt in der Ration und weist auf vermehrte Gelbanteile bei steigendem WL-Gehalt in der Fütterung hin. Dabei sind alle Unterschiede signifikant. Der L*Wert (Abbildung 29) ist in WL15 signifikant geringer als WL10. Ansonsten gibt es keine signifikanten Unterschiede.

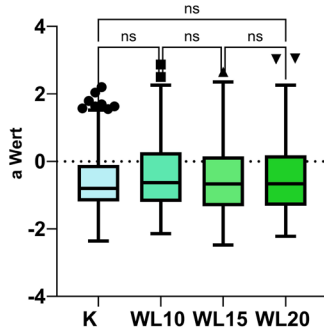


Abb. 27: a*Wert Karpfenfilet

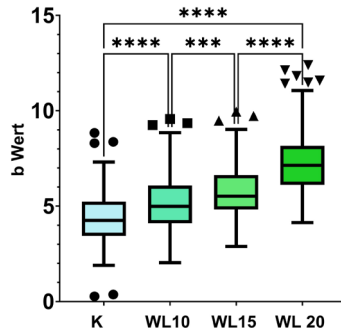


Abb. 28: b*Wert Karpfenfilet

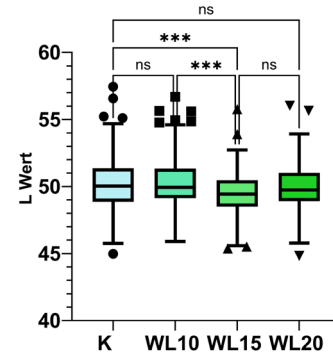


Abb. 29: L*Wert Karpfenfilet

a Wert: Rot(+)/Grün(-); b Wert: Gelb(+)/Blau(-), L Wert: Helligkeit. **** $p < 0,0001$; *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Physikalische Fleischqualitätsparameter

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der physikalischen Fleischqualitätsanalyse aller Gruppen dargestellt. Die Scherkraft unterscheidet sich zwischen den Gruppen nicht signifikant ($p > 0,05$). Der Kochverlust weist ebenfalls keine signifikanten Unterschiede auf. Die prozentuale pH-Absenkung ist in WL15 niedriger als in allen anderen Gruppen, signifikant ist dieser Unterschied nur zwischen WL10 und WL20.

Tab. 10: Physikalische Fleischqualitätsparameter der Karpfenfilets

| Parameter | K(n= | WL10 | WL15 | WL20 |
|-------------------|----------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Scherkraft (g/Kg) | 0,21 +/- 0,03 | 0,21 +/- 0,05 | 0,20 +/- 0,04 | 0,21 +/- 0,05 |
| Kochverlust (%) | 10,51 +/- 1,63 | 10,51 +/- 1,69 | 10,03 +/- 1,63 | 10,43 +/- 1,39 |
| pH-Absenkung (%) | 4,62 +/- 2,31 | 4,91 +/- 1,94 ^a | 3,72 +/- ^b | 4,81 +/- 2,03 ^a |

Die Werte sind Mittelwerte mit Standardabweichungen, gefolgt von unterschiedlichen Buchstaben in der gleichen Reihe sind sie signifikant unterschiedlich auf dem Level $p < 0,05$ (Tukey's Test)

Sensorik

Die quantitative deskriptive Analyse (QDA) der Karpfenbällchen ergab signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Fütterungsgruppen in mehreren sensorischen Attributen. Insbesondere zeigten sich bei den geschmacklichen Parametern teils deutliche Effekte der Wasserlinsen-Supplementierung (Abbildung 30). Signifikante Unterschiede zwischen den Proben konnten vor allem beim fischigen Geschmack festgestellt werden ($p = 0,001$). Hier nahm die Intensität mit steigendem Anteil an WL deutlich zu: Während die Kontrollprobe (0 % WL) mit einem Mittelwert von 27,16 bewertet wurde, erreichte die 20 %-Gruppe einen deutlich höheren Wert von 32,99. Auch der umami-Geschmack zeigte einen signifikanten Anstieg ($p = 0,002$), mit Mittelwerten von 25,83 (Kontrolle) bis 27,87 (20 % WL). Darüber hinaus wurden die Proben mit Wasserlin-

sen-Zusatz signifikant erdiger im Geschmack ($p = 0,014$) und ebenfalls signifikant nussiger ($p = 0,044$) beurteilt. Auch das adstringierende Mundgefühl nahm mit dem Wasserlinsenanteil zu ($p = 0,007$), wobei es in der 20 %-Gruppe mit 19,19 am höchsten ausfiel. Der nussige Nachgeschmack war bei den Supplementierungsgruppen ebenfalls signifikant stärker ausgeprägt ($p = 0,002$), mit einem Anstieg von 18,36 (Kontrolle) auf 19,14 (20 %).

Weitere, schwächer signifikante Unterschiede zeigten sich im buttrigen Geschmack ($p = 0,065$) und süßlichen Geruch ($p = 0,065$). Dagegen blieben viele andere Attribute, wie z. B. fischiger Geruch, algiger Geruch oder süßlicher Geschmack, unbeeinflusst durch die Fütterungsvariation. Die Interaktion zwischen Produkt und Prüfer war bei mehreren Attributen signifikant (z. B. erdiger Geruch, $p = 0,002$; adstringierendes Mundgefühl, $p < 0,001$), was auf individuelle Wahrnehmungsunterschiede innerhalb des Panels hinweist.

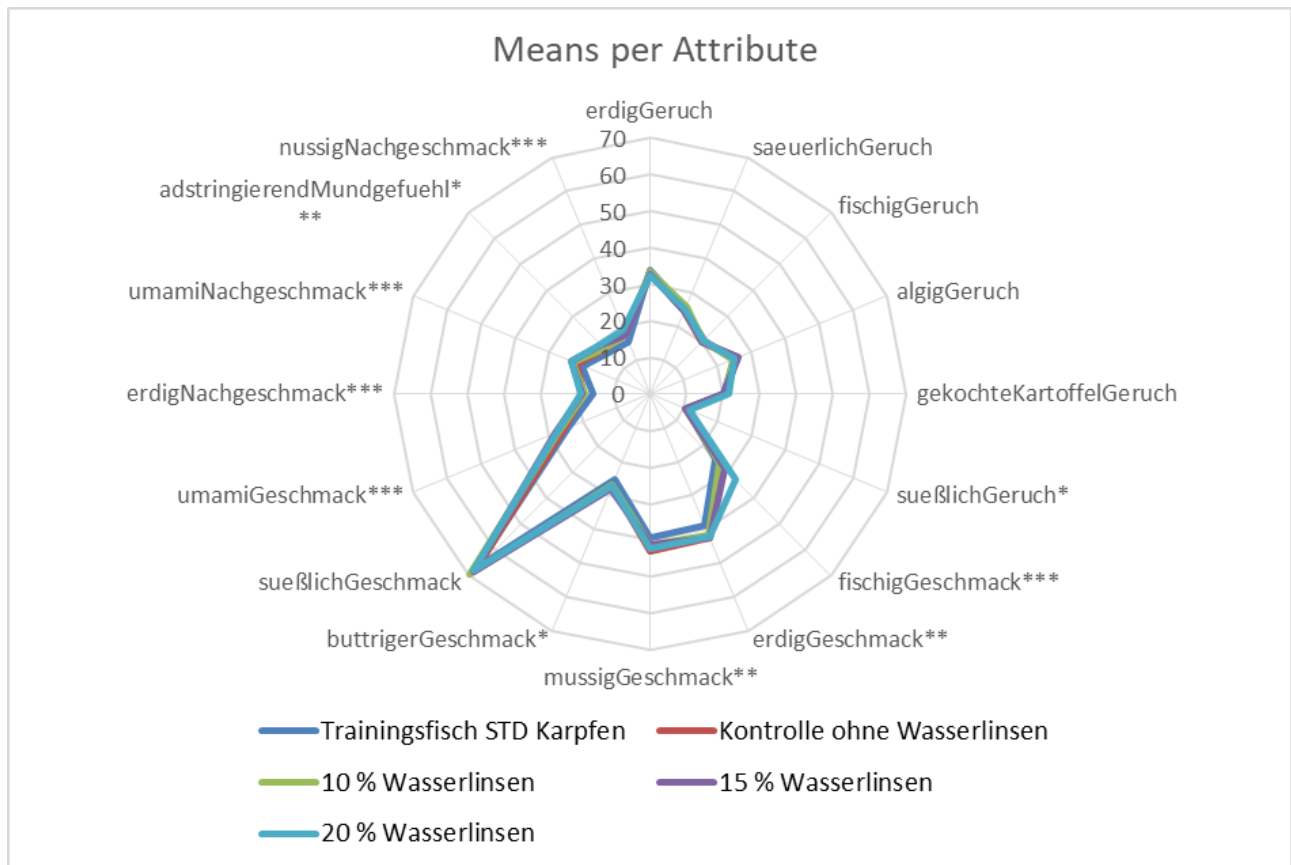


Abb. 30: Mittlere Intensitätswerte der sensorischen Attribute (QDA) von Karpfenbällchen aus vier Fütterungsgruppen mit unterschiedlichen Anteilen an WL (0 %, 10 %, 15 % und 20 %) und einer Kontrollgruppe Karpfen bewertet auf einer 100 %- Intensitäts-skala. Mit einem Stern (*) markierte Attribute zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p < 0,05$).

Nächste Schritte

Geplant ist die Veröffentlichung der Versuchsergebnisse in wissenschaftlichen Fachzeitschriften sowie deren Vorstellung auf nationalen und internationalen Tagungen. Darüber hinaus sollen die Daten als Grundlage für eine Dissertation dienen.

Die Ergebnisse des Karpfenfütterungsversuchs deuten auf eine gute Verträglichkeit wasserlinsenbasierter Futtermittel hin. Zwar war in allen drei Supplementierungsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe ein gewisser Leistungsabfall zu beobachten, jedoch unterschieden sich die Leistungen der Versuchsgruppen untereinander nur geringfügig. Dies legt nahe, dass Karpfen – im Gegensatz zu Forellen – auch bei höheren Anteilen von Wasserlinsen im Futter zufriedenstellende Wachstumsleistungen erzielen können.

Damit unterstreichen die Ergebnisse das erhebliche Potenzial von Wasserlinsen, den Einsatz von Fischmehl in der Aquakultur perspektivisch zu reduzieren. Gleichzeitig ist zu beachten, dass die großtechnische Produktion von Wasserlinsen derzeit noch durch Herausforderungen hinsichtlich Skalierbarkeit, Wirtschaftlichkeit und regulatorischer Vorgaben limitiert ist.

Ein weiterer zentraler Aspekt betrifft die Verdaulichkeit: Im Vergleich zu herkömmlichen Futtermitteln scheint die Verwertung von Wasserlinsen durch Karpfen eingeschränkt zu sein. Dies könnte auf das Vorhandensein antinutritiver Inhaltsstoffe hinweisen und macht eine vertiefte Untersuchung sowie eine mögliche technologische Aufbereitung der Wasserlinsen erforderlich, um deren Einsatz als nachhaltige Proteinquelle weiter zu optimieren.

Zudem zeigten sich mess- und sichtbare Farbveränderungen der Karpfenhaut, was neue Fragestellungen aufwirft: Welche Inhaltsstoffe sind hierfür verantwortlich, und inwiefern beeinflussen solche Farbunterschiede die Verbraucherakzeptanz? Die von geschulten Prüfer:innen festgestellten sensorischen Unterschiede legen nahe, dass ergänzend auch ein Verbrauchertest durchgeführt werden sollte, um die Praxisrelevanz dieser Effekte abschließend zu bewerten.

3.3 Fütterungsversuch Gänse – Universität Göttingen

Versuchsbeschreibung

An der Georg-August-Universität wurde ein Wahlversuch mit Gänsen geplant und 2024 durchgeführt. Ziel des Versuches war es herauszufinden, wie die Wasserlinse als Futtermittel von den Tieren angenommen und verglichen mit anderen Futtermitteln bezüglich der Präferenz eingeordnet wird.

Dazu wurden 27.07.2024 18 Eintagsküken eingestallt und zunächst in einer Gruppe vier Wochen aufgezogen.



Abb. 31: Gänseküken (Quelle: B. Krone)

Einige Wochen später wurden die Jungtiere zufällig in 6 Gruppen mit je 3 Gänsen aufgeteilt, jede Gruppe hatte ihre eigene Voliere ausgestattet mit Futtertrog, Geflügeltränke, Heuball, Einstreu aus Spänen und Stroh und einem Badebecken.



Abb. 32 : Gänse in der Gruppe in eigener Voliere (Quelle: A. Niemann)

Die Durchführung der Untersuchung wurde dadurch erschwert, dass die Gänse insgesamt eher scheu blieben und dadurch, verglichen mit den im Institut bestehenden Erfahrungen mit Hühnern unter vergleichbaren Haltungsbedingungen, schneller Stress in den Gruppen entstehen konnte. Parallel mit einigen Maßnahmen (bewusstes Gewöhnungsprogramm an Personen; tagsüber immer gewisser Geräuschpegel im Stall, z.B. Radio; Angebot von Beschäftigungsmaterial; in einigen Fällen auch Anbringung einer optischen Trennung zwischen den Volieren) konnte die Eingewöhnung der Tiere deutlich verbessert und die Untersuchungen mit den Tieren durchgeführt werden.

In der Aufzuchtphase wurden die Tiere neben ihrer Grundversorgung mit dem Basisfutter über mehrere Wochen an die Versuchsfuttermittel gewöhnt. Verglichen werden sollten die WL mit Faserkomponenten wie Luzerne-, Gras- und Maiscobs. In dieser Phase stellte sich auch die geeignetste Darbietungs- und Vergleichsform der verschiedenen Futtermittel heraus. Die Vergleichsfuttermittel wurden auf 4 mm gemahlen und mit dem Basisfutter vermischt angeboten. Die WL lagen zu Beginn lediglich in getrockneter Form vor, wurden dann ebenfalls gemahlen und mit Grundfutter vermischt angeboten. Durch die Vermahlung lagen die Faserkomponenten in vergleichbarer Konfektion vor und den Gänsen war das Selektieren einer Komponente kaum möglich. Bei einem separaten Angebot der Faserkomponenten wurden diese nur in sehr geringen Mengen aufgenommen.

Für diesen Gänseversuch wurden die getrockneten WL von extern bezogen. Dabei handelt es sich um die vielwurzelige Wasserlinse, *Spirodela polyrhiza*, die u.a. Verwendung findet zur Herstellung von Teemischungen (Lebensmittel).



Abb. 33: getrocknete WL (Quelle: A. Niemann)

Der erste Fütterungsversuch galt als Vorversuch und die Futtermittel wurden in einem Volumenverhältnis von 50:50 mit dem Grundfutter drei der sechs Gänsegruppen angeboten. Dabei wurde den Tieren jeweils zwei Futtermischungen zur Wahl in die Voliere gestellt und nach 3h und 6h wurden die Futtertröge zurückgewogen, um die Futteraufnahme quantitativ ermitteln zu können. Damit jede Gruppe jede Kombination an Futtermitteln vorgesetzt bekam, erstreckte sich der Vorversuch über 6 Versuchstage.

An dem folgenden zweiten Fütterungsversuch nahmen alle Gruppen teil. Die gemahlene Futterkomponenten wurden in einem Verhältnis von 30:70 nach Gewicht mit dem Grundfutter vermischt. Der Versuchsablauf wurde aus dem Vorversuch übernommen, sprich 6 Gruppen bekamen an 6 Versuchstagen jeweils zwei der vier verschiedenen Futtermittel zur Wahl. Die Futteraufnahme konnte dann anhand der Rückwaage der Futterreste nach 6 Stunden ermittelt werden. Der dritte Fütterungsversuch war identisch zu dem vorherigen, mit dem einzigen Unterschied, dass die WL hierbei nicht gemahlen wurden, sondern lediglich in getrockneter Form mit dem Grundfutter vermengt wurden.



Abb. 34: Übersicht Futtermischungen Fütterungsversuch Gänse (Quelle B.Krone)

| Versuchstag | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 | Gruppe 4 | Gruppe 5 | Gruppe 6 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | LM | LW | MW | GL | GM | GW |
| 2 | GM | GW | LM | LW | MW | GL |
| 3 | MW | GL | GM | GW | LM | LW |
| 4 | LW | MW | GL | GM | GW | LM |
| 5 | GW | LM | LW | MW | GL | GM |
| 6 | GL | GM | GW | LM | LW | MW |

Abb.: 35 Fütterungsschema zum zweiten Fütterungsversuch (L= Luzerne; M=Mais; W=Wasserlinse; G=Gras)

So konnten Daten zur Futteraufnahme der angebotenen Futtermittel in Anwesenheit eines anderen Futtermittels erhoben werden, wobei jeder Gruppe jede mögliche Kombination einmal pro Versuchsdurchlauf vorgesetzt bekam. Außerdem wurden Futterproben der Einzelkomponenten (Grundfutter, Mais, Luzerne, Gras, WL) sowie Proben von den Mischungen der Wahlfuttermittel mit dem Grundfutter gesammelt und im nächsten Schritt im Labor analysiert (Tabelle 11).

Tab. 11: Nährstoffzusammensetzung Futtermittel Cobs, Grundfutter und Futtermischungen

| | TS abs. (%) | XA (g/kg TS) | XP (g/kg TS) | XL (g/kg TS) | XF (g/kg TS) | Stärke enz. (g/kg TS) | Zucker (g/kg TS) |
|--|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| Wasserlinsen | 92 | 196 | 198 | 15 | 11 | 121 | 15 |
| Luzernecobs | 91 | 101 | 156 | 27 | 25 | 10 | 57 |
| Grascobs | 92 | 78 | 84 | 21 | 31 | 10 | 57 |
| Maiscobs | 90 | 28 | 73 | 26 | 16 | 388 | 57 |
| Grundfutter | 89 | 68 | 188 | 51 | 7 | 412 | 58 |
| Grundfutter+ Wasserlinsen | 90 | 102 | 188 | 37 | 8 | 337 | 64 |
| Grundfutter+ Luzu- ernecobs | 90 | 75 | 175 | 42 | 13 | 276 | 69 |
| Grundfutter+ Grascobs | 90 | 69 | 150 | 40 | 15 | 277 | 60 |
| Grundfutter+ Maiscobs | 90 | 50 | 143 | 42 | 10 | 408 | 54 |

Ergebnisse und Auswertung

Tab. 12: Auswertung 1. Fütterungsversuch (Vorversuch) (Trockenmassefutteraufnahme in g)

| Fütterungsversuch 1 50/50 nach Volumen | Kombination | Futtermittel | Gruppe2 | Gruppe3 | Gruppe5 | | Mittelwert | SD | Median | Varianz |
|---|-------------|--------------|---------|---------|---------|-----|------------|-----|--------|---------|
| | LM | L | 5 | 1 | 8 | | 5 | 3 | 5 | 8 |
| | | M | 212 | 168 | 187 | 0:3 | 189 | 22 | 187 | 317 |
| | LW | L | 47 | 8 | 2 | | 19 | 25 | 8 | 400 |
| | | W | 61 | 46 | 36 | 0:3 | 48 | 13 | 46 | 110 |
| | MW | M | 147 | 280 | 63 | | 163 | 109 | 147 | 7928 |
| | | W | 22 | 3 | 1 | 3:0 | 9 | 12 | 3 | 89 |
| | GL | G | 53 | 102 | 2 | | 52 | 50 | 53 | 1671 |
| | | L | 17 | 5 | 19 | 2:1 | 14 | 7 | 17 | 35 |
| | GM | G | 21 | 3 | 6 | | 10 | 10 | 6 | 65 |
| | | M | 130 | 147 | 84 | 0:3 | 120 | 33 | 130 | 704 |
| | GW | G | 102 | 57 | 7 | | 55 | 48 | 57 | 1511 |
| | | W | 89 | 33 | 35 | 2:1 | 53 | 32 | 35 | 670 |

Tab. 13: Auswertung 2. Fütterungsversuch (Trockenmassefutteraufnahme in g)

| Fütterungsversuch 2 30/70 nach Gewicht | Kombination | Futtermittel | Gruppe1 | Gruppe2 | Gruppe3 | Gruppe4 | Gruppe5 | Gruppe6 | | Mittelwert | SD | Median | Varianz |
|---|-------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|------------|-----|--------|---------|
| | LM | L | 2 | 51 | 1 | 0 | 51 | 21 | | 21 | 25 | 12 | 502 |
| | | M | 93 | 213 | 217 | 32 | 156 | 289 | 0:6 | 167 | 93 | 185 | 7210 |
| | LW | L | 31 | 133 | 19 | | 3 | 29 | | 76 | 93 | 30 | 7236 |
| | | W | 68 | 38 | 26 | 2 | 2 | 37 | 3:2 | 29 | 25 | 32 | 521 |
| | MW | M | 150 | 132 | 162 | 57 | 177 | 210 | | 148 | 52 | 156 | 2255 |
| | | W | 18 | 58 | 0 | 4 | 3 | 0 | 6:0 | 14 | 23 | 4 | 423 |
| | GL | G | 54 | 181 | 83 | | 1 | 46 | | 80 | 63 | 69 | 3273 |
| | | L | 0 | 123 | 8 | 3 | 17 | 91 | 5:0 | 40 | 53 | 12 | 2341 |
| | GM | G | 38 | 33 | 2 | 4 | 3 | 47 | | 21 | 20 | 19 | 343 |
| | | M | 243 | 123 | 117 | 88 | 231 | 307 | 0:6 | 185 | 87 | 177 | 6378 |
| | GW | G | 44 | 201 | 49 | | 2 | 54 | | 100 | 101 | 51 | 8418 |
| | | W | 55 | 41 | 10 | 3 | 9 | 54 | 4:2 | 29 | 24 | 25 | 480 |

Tab. 14: Auswertung 3. Fütterungsversuch (Trockenmassefutteraufnahme in g)

| Fütterungsversuch 3 30/70 nach Gewicht | Kombination | Futtermittel | Gruppe1 | Gruppe2 | Gruppe3 | Gruppe4 | Gruppe5 | Gruppe6 | | Mittelwert | SD | Median | Varianz |
|---|-------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|------------|-----|--------|---------|
| | LM | L | 94 | 7 | 2 | 3 | 26 | 20 | | 25 | 35 | 14 | 1028 |
| | | M | 334 | 192 | 132 | 97 | 199 | 230 | 0:6 | 197 | 83 | 195 | 5703 |
| | LW | L | 77 | 241 | 54 | | 3 | 52 | | 105 | 94 | 65 | 7348 |
| | | W | 0 | 41 | 3 | 4 | 2 | 5 | 5:0 | 9 | 16 | 4 | 204 |
| | MW | M | 91 | 78 | 263 | 132 | 157 | 137 | | 143 | 66 | 135 | 3594 |
| | | W | 1 | 0 | 143 | 0 | 1 | 0 | 6:0 | 24 | 58 | 0 | 2845 |
| | GL | G | 46 | 97 | 38 | | 1 | 18 | | 43 | 33 | 42 | 922 |
| | | L | 17 | 87 | 34 | 1 | 44 | 152 | 3:2 | 56 | 55 | 39 | 2550 |
| | GM | G | 20 | 25 | 11 | 0 | 23 | 11 | | 15 | 10 | 15 | 77 |
| | | M | 149 | 293 | 168 | 108 | 380 | 186 | 0:6 | 214 | 102 | 177 | 8671 |
| | GW | G | 100 | 65 | 83 | | 2 | 51 | | 78 | 55 | 74 | 2546 |
| | | W | 4 | 66 | 1 | 3 | 0 | 22 | 4:0 | 16 | 26 | 3 | 556 |

Zur Auswertung bezüglich der Versuchsfrage, wie die Wasserlinse als Futtermittel von den Gänsen im Vergleich zu anderen Futtermitteln eingeordnet wird, wurde die Futteraufnahme der Gruppen näher betrachtet. Dabei wurde die Kombination an zu den wahlgestellten Futtermitteln bezüglich Aufnahme in Gramm (Trockenmasse) zwischen den 6 Gruppen nebeneinander aufgezeigt und ermittelt, welches Futtermittel in der

entsprechenden Kombination von den Tieren favorisiert wurde. Außerdem wurde der Mittelwert der Futtermittelaufnahme aller Gruppen gebildet.

In den meisten Fällen lässt sich eindeutig erkennen, dass die Einzelgruppe ein Futtermittel dem jeweiligen Kombinationspartner vorgezogen hat. Gruppenübergreifend sieht man aber auch, dass nicht immer alle Gruppen die gleiche Wahl getroffen haben. Sobald die Maismischung angeboten wurde, wurde diese durchweg eindeutig dem anderen Futtermittel vorgezogen. Das lässt sich an der Aufnahme der einzelnen Gruppen aber auch in der Gesamtfutteraufnahme des Futtermittels erkennen.

Im zweiten Versuchsdurchlauf wurde die Gras-Grundfutter-Mischung an zweiter Stelle favorisiert, im dritten Durchlauf dagegen die Luzerne-Mischung; die Wasserlinsen-Mischung wurde in beiden Fällen am wenigsten aufgenommen und auch keinem anderen Futtermittel vorgezogen.

Im Vorversuch bildet sich die favorisierte Aufnahme wie folgt ab: Mais > Gras > Wasserlinse > Luzerne. Die Wasserlinse hat ein sehr geringes Gewicht bei vergleichsweise großem Volumen. Somit ist der Anteil an WL in der Mischung aus dem Vorversuch (Mischung nach Volumen) deutlich geringer als der Anteil in den Wahlversuchen (Mischung nach Gewicht), was die geänderte Reihenfolge bezüglich der Wasserlinse im Vorversuchsranking erklärt.

Die Varianz und die Standardabweichung in der Futteraufnahme der Tiere ist groß und es gibt in den Versuchsdurchläufen vergleichend, aber auch einzeln betrachtet große Schwankungen. Dennoch lässt sich ein Trend in der Reihenfolge der Futtermittelwahl erkennen und die gesamte Futteraufnahme der einzelnen Futtermittelmischungen ist eindeutig.

Tab. 15: Auswertung Ranking Futtermittel

| Vorversuch | | Ranking | Aufnahme Gesamt (g) |
|---------------------|-------------|---------|---------------------|
| | Mais | 3x | 929 |
| | Gras | 2x | 177 |
| | Wasserlinse | 1x | 154 |
| | Luzerne | 0x | 44 |
| 2.Fütterungsversuch | | Ranking | Aufnahme Gesamt (g) |
| | Mais | 3x | 2997 |
| | Gras | 2x | 1212 |
| | Luzerne | 1x | 826 |
| | Wasserlinse | 0x | 431 |
| 3.Fütterungsversuch | | Ranking | Aufnahme Gesamt (g) |
| | Mais | 3x | 3328 |
| | Luzerne | 2x | 1113 |
| | Gras | 1x | 814 |
| | Wasserlinse | 0x | 297 |

Das Ranking (Tab.: 15) gibt an, wie oft die Gänse eine bestimmte Futtermischung gegenüber einer anderen bevorzugt haben. Jede Mischung wurde insgesamt dreimal in Kombination mit jeweils einer anderen getestet. Mais wurde beispielsweise in jedem dieser Vergleiche bevorzugt (daher 3x), unabhängig davon, welches Futtermittel als Alternative angeboten wurde. Gras hingegen wurde nur zweimal bevorzugt, da die Gänse den Mais stets vorzogen.

3.4 Fütterungsversuch Gänse – Hof Claßen

Versuchsbeschreibung

In diesem Arbeitspaket wurde ein praktischer Fütterungsversuch an Gänsen durchgeführt. Der Versuch fand auf dem Hof Claßen in Vechta statt. Zu Beginn wurden 15 Eintagsküken über einen Zeitraum von acht Wochen aufgezogen. Anschließend erfolgte eine Einteilung in drei Versuchsgruppen mit jeweils fünf Tieren.

Ziel des Versuchs war es, die unterschiedliche Aufnahme der Futtermischungen mit Wasserlinsenanteilen bei den Gänsen zu untersuchen. Während der siebenwöchigen Versuchsphase erhielten die Tiere je nach Gruppe verschiedene Futtermischungen.

- **Gruppe 1 (Kontrollgruppe):** Diese Tiere erhielten ausschließlich eine konventionelle Grundration, bestehend aus Weizen, Mineralfutter, Silomais und Sonnenblumen.
- **Gruppe 2:** Die Ration enthielt neben den Grundfutterkomponenten auch WL, in einem Anteil von 20% (Frischmasse).
- **Gruppe 3:** Der Anteil der WL in der Futtermischung betrug 33 % (Frischmasse).

Während der Versuchsdauer wurden die Futterkomponenten jeder Gruppe gewogen und die Rationen entsprechend gemischt. Die tägliche Futteraufnahme wurde durch Zurückwiegen der nicht aufgenommenen Futterreste ermittelt. Dadurch konnte die Futteraufnahme pro Gruppe und Tag quantitativ erfasst werden.

Nach Beendigung der Versuchsphase wurden die Gänse geschlachtet und für weitere sensorische Untersuchungen, sowie Untersuchungen bezüglich der Fleischqualität zur Georg-August-Universität nach Göttingen gebracht.

Ergebnisse und Auswertung

Um die Fütterungsgruppen vergleichen und die Versuchsergebnisse auswerten zu können, wurde die tägliche Rückwaage von der täglichen Futtereinwaage abgezogen, um die tägliche Futteraufnahme jeder Gruppe zu bestimmen. Über den Zeitraum von sieben Wochen wurde daraus die Gesamtfutteraufnahme als Frischmasse berechnet. Zusätzlich wurde der Trockenmassegehalt der einzelnen Futtermischungen durch eine Laboruntersuchung bestimmt, sodass die Gesamtfutteraufnahme auch als Trockenmasse angegeben werden konnte, was einen direkten Vergleich der drei Fütterungsgruppen ermöglicht.

Tab. 16: Futteraufnahme in Frisch- und Trockenmasse

| Futteraufnahme | Gruppe 1 | | Gruppe 2 | | Gruppe 3 | |
|----------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Frischmasse (kg) | Trockenmasse (kg) | Frischmasse (kg) | Trockenmasse (kg) | Frischmasse (kg) | Trockenmasse (kg) |
| Gesamt | 133.3 | 83.9 | 145.5 | 69.7 | 174.8 | 71.0 |
| je Tier | 26.7 | 16.8 | 29.1 | 13.9 | 35.0 | 14.2 |
| Tier/ Tag | 0.56 | 0.35 | 0.61 | 0.29 | 0.73 | 0.30 |

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtfutteraufnahme der Kontrollgruppe bei 83.9 kg Trockenmasse lag. Bei den Gruppen zwei und drei, in denen unterschiedliche Mengen an WL in die Ration eingemischt wurden, betrug die Gesamtfutteraufnahme jeweils 69.7 kg TM bzw. 71 kg TM. Dies entspricht einem Unterschied von rund 14 kg im Vergleich zur Kontrollgruppe, wobei zwischen Gruppe zwei und drei nur geringe Unterschiede festgestellt wurden.

Tab. 17: Rationszusammensetzung Fütterungsgruppen 1 bis 3

| | Ration Gruppe 1 | | | Ration Gruppe 2 | | | Ration Gruppe 3 | | |
|---------------------|------------------|--------|-------------------|------------------|--------|-------------------|------------------|--------|-------------------|
| Rations-komponenten | Frisch-masse (g) | TM (%) | Trocken-masse (g) | Frisch-masse (g) | TM (%) | Trocken-masse (g) | Frisch-masse (g) | TM (%) | Trocken-masse (g) |
| Weizen | 346 | 63 | 629 | 3180 | 57,1 | 1816 | 3180 | 57,1 | 1816 |
| Mineralfutter | 14 | | | | | | | | |
| Silo Mais | 460 | | | | | | | | |
| Sonnenblumen | 180 | | | | | | | | |
| | | | | 320 | | | 320 | | |
| Wasserlinsen | 0 | 0 | 0 | 870 | 4,35 | 38 | 1750 | 4,35 | 76 |
| Gesamt | 1000 | | 629 | 4370 | | 1854 | 5250 | | 1892 |

Die anschließende Analyse der Schlachtkörper ergab für die Gänse der Kontrollgruppe einen mittleren Rohproteingehalt (XP) von 837.9 g/kg TM und den Tieren mit der höchsten Zuschlagstufe an WL 811.3 gXP/kg TM. Für den Fettgehalt ergab sich für die Gänse der Gruppe 3 ein Fettgehalt von 17.4 g/kg TM. Im Vergleich dazu lag die Kontrollgruppe bei 14.9 gXL/kg TM, wobei die Werte für Gruppe drei eine deutlich größere Spannweite aufwiesen als die Gruppen eins und zwei.

Tab. 18: Rohnährstoffanalyse Gänse (Mittelwert, Standardabweichung; (min-max))

| | Gruppe 1 (n=5) | Gruppe 2 (n=5) | Gruppe 3 (n=5) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| XP (g/kg TM) | 837.9 ±20.02 (808.4 – 861.6) | 815.8 ±10.99 (802.7 – 828.0) | 811.3 ±37.77 (747.4 – 851.8) |
| XL (g/kg TM) | 14.9 ±1.64 (13.5 – 18.1) | 16.7 ± 0.92 (15.6 – 17.8) | 17.4 ±4.00 (12.8 – 24.7) |

Für das Fettsäurenmuster im intramuskulären Fett des M. Pectoralis (großer Brustmuskel) ergab sich für die drei Versuchsgruppen folgendes Bild.

Tab. 19: Analyse der Schlachtkörper Gänse - Fettsäuremuster

| FAME | Gruppe 1 (n=5) | Gruppe 2 (n=5) | Gruppe 3 (n=5) |
|----------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| C14:0 | 0.40 ± 0,04 (0.35 – 0.50) | 0.35 ±0.04 (0.28 – 0.42) | 0.39 ±0.03 (0.35 – 0.45) |
| C16:0 | 22.30 ± 1.03 (20.76 – 24.36) | 22.19 ±0.72 (20.97 – 23.75) | 22.37 ±1.27 (20.60 – 24.23) |
| C17:0 | 0.12 ±0.02 (0.10 – 0.15) | 0.12 ±0.01 (0.10 – 1.14) | 0.12 ±0.02 (0.09 – 0.16) |
| C18:0 | 8.55 ±0.83 (7.35 – 9.72) | 7.94 ±0.58 (6.92 – 8.67) | 7.81 ±1.06 (6.16 – 9.21) |
| C20:0 | 0.14 ±0.03 (0.12 – 0.22) | 0.13 ±0.02 (0.10 – 1.16) | 0.13 ±0.03 (0.09 – 0.17) |
| C16:1n-7 | 2.61 ±0.27 (2.24 – 3.23) | 3.02 ±0.62 (1.99 – 3.88) | 3.24 ±0.64 (2.44 – 4.28) |

| | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| C17:1n-7 | 0.84 ±0.14 (0.56 – 1.09) | 0.70 ±0.11 (0.59 – 0.97) | 0.73 ±0.21 (0.40 – 1.08) |
| C18:1n-9 | 33.29 ±1.40 (30.88 – 34.71) | 34.64 ±1.39 (31.97 – 36.86) | 35.38 ±3.85 (28.84 – 41.29) |
| C20:1n-9 | 0.28 ±0.04 (0.25 – 0.38) | 0.29 ±0.02 (0.25 – 0.33) | 0.27 ±0.03 (0.23 – 0.32) |
| C18:3n-3 | 0.69 ±0.11 (0.52 – 0.88) | 0.94 ±0.20 (0.68 – 1.24) | 0.91 ±0.17 (0.72 – 1.16) |
| C22:6n-3 | 0.44 ±0.06 (0.34 – 0.55) | 0.50 ±0.06 (0.42 – 0.60) | 0.39 ±0.14 (0.23 – 0.32) |
| C18:2n-6 | 13.35 ±0.82 (12.05 – 14.70) | 13.44 ±1.17 (11.55 – 16.02) | 13.07 ±1.92 (10.23 – 16.26) |
| C20:2n-6 | 0.20 ±0.02 (0.17 – 0.24) | 0.19 ±0.02 (0.16 – 0.22) | 0.17 ±0.04 (0.13 – 0.23) |
| C20:3n-6 | 0.20 ±0.02 (0.17 – 0.24) | 0.22 ±0.02 (0.20 – 0.26) | 0.21 ±0.05 (0.13 – 0.28) |
| C20:4n-6 | 6.30 ±0.86 (5.05 – 7.65) | 5.31 ±0.74 (4.24 – 6.53) | 4.98 ±1.13 (3.23 – 6.98) |
| Total | 89.71 ±0.70 (88.49 – 90.60) | 89.98 ±0.68 (88.92 – 90.99) | 90.17 ±0.97 (88.28 – 91.51) |
| SFA | 31.51 ±1.04 (29.93 – 32.88) | 30.73 ±1.09 (28.60 – 32.38) | 30.82 ±1.19 (28.78 – 32.78) |
| MUFA | 37.02 ±1.38 (34.71 – 38.49) | 38.66 ±1.30 (36.50 – 40.58) | 39.62 ±3.89 (33.02 – 45.83) |
| PUFA | 21.18 ±1.45 (19.73 – 23.95) | 20.59 ±1.68 (17.67 – 24.35) | 19.73 ±3.31 (14.72 – 25.44) |
| n3-PUFA | 1.13 ±0.12 (0.97 – 1.33) | 1.44 ±0.24 (1.11 – 1.84) | 1.31 ±0.30 (0.96 – 1.72) |
| n6-PUFA | 20.05 ±1.38 (18.67 – 22.63) | 19.15 ±1.52 (16.56 – 22.51) | 18.43 ±3.04 (13.77 – 23.71) |

3.5 Wasserlinsen – Anlage DNTW Göttingen

Versuchsbeschreibung

Im DNTW der Georg-August-Universität Göttingen wurde für und durch das ReWali-Projekt eine an die Aquakulturanlage angeschlossene Pilotanlage für Wasserlinsenproduktion gebaut. Die Produktion befand sich in einem mit einer automatischen Lüftung ausgestatteten Folienhaus und bestand aus sechs rechteckigen Becken mit einer Gesamtproduktionsfläche von 14 m² auf Pflanztischen, die mit Teichfolie ausgelegt waren. Jeweils drei Becken standen hintereinander und waren so platziert, dass das Wasser in einer Kaskade durch die Becken lief. Das zur Speisung der Becken genutzte Wasser kam mit einer Temperatur von 27 °C aus der rezirkulierenden Aquakulturanlage des Departments für Nutztierwissenschaften und enthielt durch den Fischstoffwechsel akkumulierte Nährstoffe. In der unterirdischen Leitung kühlte das Wasser auf 17 bis 19 °C ab. Phosphat und Nitrat waren in für das Pflanzenwachstum ausreichenden Mengen enthalten. Während des Anbaus der WL wurden vor allem zwei verschiedene Arten beobachtet. Zu Beginn und am Ende der Wachstumsperiode (April–Juni und Oktober–November) dominierte überwiegend die Kleine Wasserlinse (*Lemna minor*). Diese Art zeichnet sich durch mehrere kleine, ovale Schwimmblätter an der Wasseroberfläche sowie bis zu 4 cm lange Wurzeln unterhalb der Oberfläche aus. Zwischen Ende Juni und Anfang Oktober wurde *Lemna minor* größtenteils von der Vielwurzeligen Wasserlinse (*Spirodela polyrhiza*) verdrängt. Diese Art besitzt mehrere runde bis eiförmige, kräftig grüne Schwimmblätter, die an der Unterseite eine violette Färbung aufweisen. Ihre Wurzeln sind im Vergleich deutlich kürzer und messen nur wenige Millimeter.

Ernte 2023

Die Wasserlinsenproduktion wurde Mitte April 2023 in Betrieb genommen. Zuerst wurde jedes Becken mit einer geringen Menge WL beimpft. Die WL wuchsen schnell und bedeckten bald die gesamte Oberfläche der Becken. Allerdings stellte sich nach ca. zwei Wochen eine Stagnation des Wachstums ein, und insbesondere die unteren Becken zeigten kaum noch Wachstum. Im Gegenteil, die WL färbten sich gelblich-braun oder wurden grau, was auf ein Absterben hindeutete. Die oberen Becken zeigten weiter ein geringfügiges Wachstum. Es war jedoch festzustellen, dass die einzelnen Wasserlinsenblätter immer kleiner wurden. Ein weiteres Problem stellten Fadenalgen dar. Mit schlechterem Wachstum der WL begannen sie sich besonders in den oberen und mittleren Becken auszubreiten, sodass die abgeernteten WL durch grünliche Verunreinigungen gekennzeichnet waren. Eine Lösung für das stagnierende Wachstum stellte die regelmäßige Zugabe von Eisen in das Produktionswasser dar. Eisen ist essentiell und wird während des Pflanzenwachstums ständig benötigt, da es Bestandteil zahlreicher Enzyme ist und die Bildung der Vorstufen von Chlorophyll katalysiert, welches die Pflanzen für die Lichtreaktion benötigen. Täglich wurden 1 g an 13 %igem EDTA-gebundener Eisendünger in das Wasser gegeben. Seitdem konnten sich die Pflanzen sichtbar erholen und die Erntemengen deutlich gesteigert werden. Auch die Größe der einzelnen Blätter hat sich wieder erhöht. Die stark verfärbten WL aus den unteren Becken und teilweise im mittleren Becken wurden selektiv entfernt und mit gesunden Pflanzen aufgefüllt. Somit konnte auf allen sechs Becken eine geschlossene, grüne, gesund erscheinende Wasserlinsendecke, ohne Fadenalgen erreicht werden.

Die Ernte erfolgte zweimal wöchentlich. Dabei wurden ca. 20 % der Oberfläche abgeschöpft, sodass sich die übrigen WL kurz darauf wieder zu einer geschlossenen Decke zusammenfanden. Die Beibehaltung einer geschlossenen Wasserdecke sollte dazu dienen, den Lichteinfall ins Wasser zu minimieren und so das Algenwachstum langfristig zu unterdrücken. Die Trocknung erfolgte in Kisten mit Siebböden, welche im Freien aufgestellt wurden. Dazu wurden die WL möglichst gleichmäßig auf dem Siebboden verteilt und nur dünn (ca. 1–2 cm) geschichtet. Die WL wurden während des Prozesses mehrmals gewendet. Die Trocknung konnte bei optimalen Wetterbedingungen (warm/sonnig und geringe Luftfeuchte) innerhalb von 24–36 Stunden vollständig im Gewächshaus erfolgen. Wenn nötig wurde das Material im Anschluss in einem Trockenschrank zu Ende getrocknet. Danach wurden die WL in Gefrierbeutel abgefüllt, gewogen, beschriftet und bei -20 °C gelagert.

Ergänzend wurde alle zwei Wochen Wasserproben jeweils im ersten und dritten Becken auf Nitrat-, Phosphor-, Nitrit- und Ammoniumgehalt untersucht. Die Ernteintervalle richteten sich nach dem Wachstum der WL und dem Erhalt einer geschlossenen Pflanzendecke. Die Erntemengen wurden im feuchten sowie im getrockneten Zustand dokumentiert. Die letzte Ernte zum Saisonende erfolgte am 19.11.2023. Für die

Überwinterung wurden WL aus den Produktionsbecken in der Warmwasserhalle der Aquakultur-Kreislaufanlage des DNTW aufbewahrt und am Leben erhalten.



Abb. 36: Anbau und Trocknung der WL am DNTW in 2023 (Quelle E. Gregersen)

Ernte 2024

Die Wasserlinsenproduktion wurde Ende Mai 2024 wie oben beschrieben wieder in Betrieb genommen. Von den 14 m² Gesamtfläche konnten je nach Wetterlage ein bis zwei Mal wöchentlich Mengen von ca. 3,5 bis 4 kg Frischmasse (ca. 1/3 der Becken) geerntet und neben der Anlage (im Gewächshaus) manuell vorgetrocknet werden. Bei Bedarf wurde den WL die Restfeuchte in einem Trockenschrank bei 60°C entzogen. Nach der Trocknung verblieben noch ca. 100 bis 150 g getrocknete WL. Es wurde die Erntemenge beckenweise frisch, sowie trocken dokumentiert und die getrockneten WL abgefüllt, gewogen und eingefroren.

Außerdem wurden die WL regelmäßig nach Becken getrennt geerntet, getrocknet und eingefroren, um mithilfe der Laborergebnisse möglicherweise einen Unterschied zwischen den einzelnen Wasserbecken feststellen zu können. Wasserproben wurden 1x wöchentlich am Einlauf der Anlage und am Ausfluss der Anlagen an jeder Beckenreihe entnommen und auf Nitrat, Ammonium und Phosphat untersucht außerdem wurde der pH-Wert der Wasserproben gemessen. So konnte von Ende Mai bis Mitte November 2024 geerntet werden.



Abb. 37: Wasserlinsenproduktion und Trocknung am DNTW 2024 (Quelle A. Niemann)

Für die Laboranalysen wurden die eingefrorenen, gelagerten WL aufgetaut und so gepoolt, dass pro Monat zwei Proben analysiert werden konnten. Für den Monat August 2024 wurden außerdem zwei Beckenanalysen vorbereitet. Die Proben wurden mit einer Zentrifugalmühle mit einem 1 mm Sieb gemahlen und in Probengläser abgefüllt.

Insgesamt wurden so 35 WL Proben auf Rohfaser und Rohprotein untersucht. Die Analysen ergaben keine monatlichen Unterschiede zwischen den jeweiligen zwei Proben pro Monat sodass für weitere Analysen die Proben pro Monat gepoolt wurden. Diese Proben wurden weiter auf Rohfett, NDF-Gehalt, Zucker, Stärke, Calcium, Phosphor, das Aminosäuremuster und das Fettsäuremuster analysiert.



Abb. 38: Probenvorbereitung der WL aus 2023 und 2024 (Quelle A. Niemann)

Ergebnisse und Auswertung

Zunächst wurden die Wasserlinsenproben zu je zwei Proben pro Monat (jeweils eine am Anfang und eine für Ende des Monats) gepoolt und auf Rohfaser und Rohprotein analysiert. Die folgenden Abbildungen zeigen den Rohfasergehalt (g/kg TM) für die Jahre 2023 und 2024.

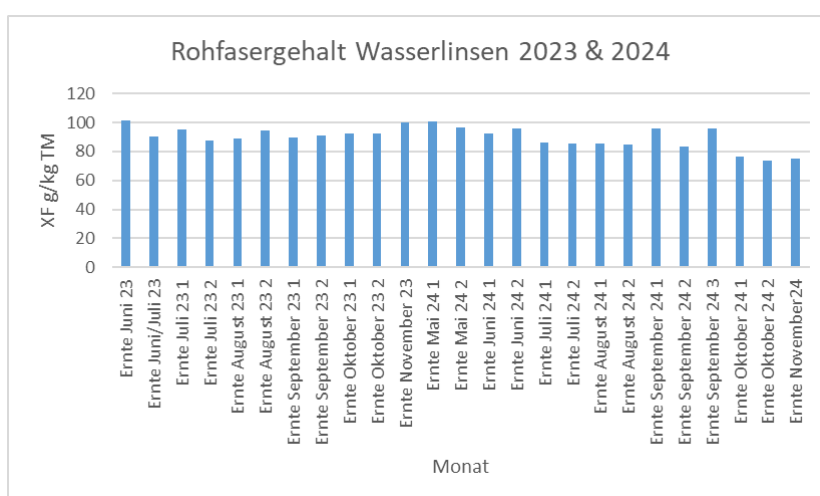


Abb. 39: Rohfasergehalt g/kg TM Wasserlinsen Ernte 2023 und 2024

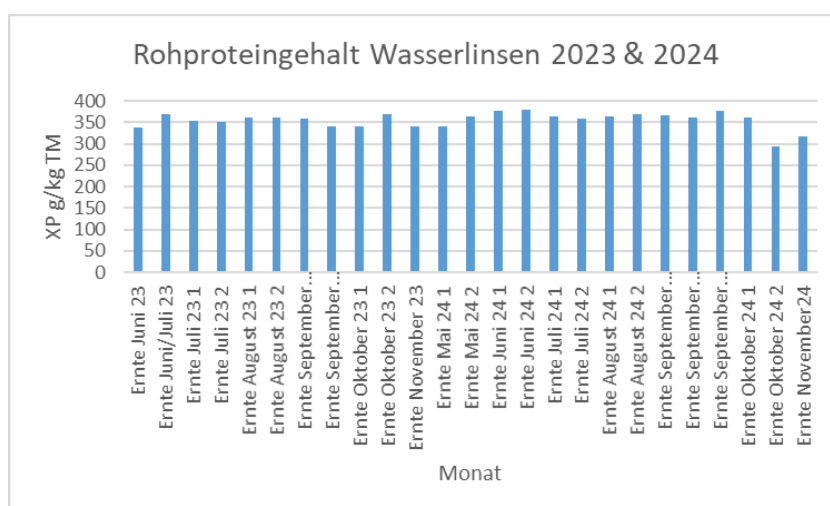


Abb. 40: Rohproteingehalt g/kg TM Ernte Wasserlinsen 2023 und 2024

Da die Schwankungen innerhalb eines Monats sich bezogen auf den XF und XP-Gehalt sich nicht signifikant voneinander unterscheiden haben, wurden die Proben für die weiteren Analysen pro Monat gepoolt. Die weiteren Analysen stellten sich wie folgt da. Eine Übersicht über die Ergebnisse zeigt Tabelle 20.

Tab. 20: Nährstoffzusammensetzung Wasserlinsen Ernte 2023 und 2024

| | XA (g/kg TM) | XP (g/kg TM) | XF (g/kg TM) | aNDFom (g/kg TM) | XL (g/kg TM) | Stärke enz. (g/kg TM) | Zucker (g/kg TM) | Ca (g/kg TM) | P (g/kg TM) |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|
| Ernte Juni 23 | 188.4 | 353.9 | 95.8 | 295.2 | 20.8 | 16.9 | < 20 * | 31.1 | 12.6 |
| Ernte Juli 23 | 173.6 | 352.5 | 91.4 | 308.0 | 23.7 | 32.2 | 21.3 | 32.8 | 12.1 |
| Ernte August 23 | 181.5 | 361.6 | 91.8 | 310.3 | 28.3 | 15.6 | < 20 * | 31.4 | 12.0 |
| Ernte September 23 | 178.4 | 349.9 | 90.2 | 324.4 | 36.2 | 14.0 | 20.5 | 30.1 | 10.7 |
| Ernte Oktober 23 | 189.3 | 355.3 | 92.4 | 268.1 | 29.3 | 14.0 | < 20 * | 34.6 | 10.8 |
| Ernte November 23 | 206.0 | 340.3 | 100.0 | 273.5 | 30.8 | 28.4 | < 20 * | 28.1 | 15.1 |
| Ernte Mai 24 | 174.9 | 353.1 | 98.7 | 312.7 | 34.6 | 11.0 | 23.4 | 21.2 | 12.6 |
| Ernte Juni 24 | 174.4 | 378.5 | 94.1 | 303.2 | 38.7 | 10.0 | < 20 * | 23.0 | 12.0 |
| Ernte Juli 24 | 163.7 | 361.3 | 85.7 | 317.5 | 36.7 | 9.2 | 27.0 | 21.7 | 9.7 |
| Ernte August 24 | 168.5 | 365.6 | 85.0 | 290.4 | 30.6 | 6.9 | 21.4 | 23.8 | 10.4 |
| Ernte September 24 | 185.2 | 368.4 | 91.5 | 332.5 | 38.0 | 9.1 | < 20 * | 25.4 | 11.5 |
| Ernte Oktober 24 | 159.8 | 328.4 | 75.0 | 315.4 | 45.0 | 115.9 | < 20 * | 20.6 | 11.2 |
| Ernte Novem- ber 24 | 165.9 | 318.5 | 75.3 | 276.9 | 39.5 | 111.8 | < 20 * | 19.9 | 11.6 |

* unter der Nachweisgrenze von 20 g/kg TM

Tab. 21 :Fettsäurenmuster Wasserlinsen Ernte 2023 und 2024

| | C12:0 | C14:0 | C15:0 | C16:0 | C17:0 | C18:0 | C22:0 | C24:0 | C16:1 | C18:1 | C20:1n-9 | C18:2n-6 | C18:3n-3 | C18:3n-6 | C22:2n-6 | Total | SFA | MUFA | PUFA | n3-PUFA | n6-PUFA |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|------|------|------|---------|---------|
| Jun 23 | 0.19 | 0.58 | 0.28 | 20.5 | 0.16 | 2.32 | 0.28 | 0.14 | 3.20 | 13.5 | 1.92 | 7.78 | 24.4 | 0.42 | 0.12 | 74.7 | 24.4 | 17.0 | 32.7 | 24.4 | 8.26 |
| Jul 23 | 0.12 | 0.65 | 0.32 | 20.0 | 0.23 | 2.01 | 0.33 | 0.24 | 3.12 | 10.2 | 0.83 | 11.24 | 26.6 | 0.69 | 0.10 | 76.6 | 23.9 | 14.2 | 38.6 | 26.6 | 12.03 |
| Aug 23 | 0.07 | 0.48 | 0.22 | 18.7 | 0.15 | 2.11 | 0.23 | 0.10 | 2.68 | 11.9 | 0.88 | 6.72 | 24.7 | 0.33 | 0.38 | 69.4 | 22.0 | 15.4 | 32.0 | 24.7 | 7.24 |
| Sep 23 | 0.07 | 0.54 | 0.20 | 19.24 | 0.13 | 2.21 | 0.26 | 0.29 | 2.84 | 12.1 | 1.36 | 5.51 | 22.3 | 0.20 | 0.14 | 67.3 | 22.9 | 16.3 | 28.1 | 22.3 | 5.85 |
| Okt 23 | 0.08 | 0.63 | 0.22 | 19.1 | 0.11 | 2.29 | 0.25 | 0.11 | 3.34 | 14.4 | 0.70 | 5.53 | 22.0 | 0.23 | 0.13 | 69.2 | 22.8 | 18.5 | 27.9 | 22.0 | 5.89 |
| Nov 23 | 0.09 | 0.34 | 0.23 | 16.4 | 0.07 | 1.95 | 0.42 | 0.17 | 2.96 | 12.5 | 0.53 | 6.36 | 34.7 | 0.31 | 0.10 | 76.8 | 19.3 | 16.0 | 41.5 | 34.7 | 6.78 |
| Mai 24 | 0.12 | 0.73 | 0.33 | 17.6 | 0.17 | 1.69 | 0.41 | 0.13 | 3.19 | 9.50 | 0.63 | 9.49 | 32.00 | 0.87 | 0.22 | 77.0 | 21.1 | 13.3 | 42.6 | 32.0 | 10.58 |
| Jun 24 | 0.10 | 0.57 | 0.21 | 19.0 | 0.14 | 1.74 | 0.40 | 0.12 | 3.27 | 9.86 | 0.46 | 6.43 | 36.0 | 0.42 | 0.16 | 78.8 | 22.2 | 13.6 | 43.0 | 36.0 | 7.01 |
| Jul 24 | 0.06 | 0.57 | 0.21 | 24.5 | 0.14 | 2.16 | 0.39 | 0.34 | 3.38 | 10.6 | 0.41 | 4.82 | 30.8 | 0.07 | 0.12 | 78.5 | 28.3 | 14.4 | 35.8 | 30.8 | 4.97 |
| Aug 24 | 0.05 | 0.49 | 0.18 | 21.6 | 0.11 | 2.66 | 0.27 | 0.20 | 3.37 | 12.9 | 0.88 | 4.02 | 22.9 | - | 0.10 | 69.5 | 25.3 | 17.1 | 27.0 | 22.9 | 4.12 |
| Sep 24 | 0.10 | 0.90 | 0.21 | 20.9 | 0.12 | 2.15 | 0.42 | 0.69 | 3.51 | 9.74 | 0.41 | 4.56 | 35.1 | - | 0.16 | 78.7 | 25.2 | 13.7 | 39.9 | 35.1 | 4.73 |
| Okt 24 | 0.08 | 0.70 | 0.18 | 16.2 | 0.07 | 1.63 | 0.50 | 0.83 | 3.40 | 7.99 | 0.33 | 7.80 | 44.4 | 0.17 | 0.29 | 84.1 | 19.8 | 11.7 | 52.6 | 44.4 | 8.26 |
| Nov 24 | 0.06 | 0.55 | 0.18 | 14.7 | 0.09 | 1.57 | 0.52 | 0.49 | 3.84 | 9.24 | 0.53 | 8.86 | 39.0 | 0.51 | 0.36 | 80.5 | 18.1 | 13.6 | 48.8 | 39.1 | 9.71 |

Tab. 22: Aminosäurenmuster Wasserlinsen Ernte 2023 und 2024 (AS mg/g TM))

| Amino- säuren mg/g TM | Juni 23 | Juli 23 | Aug 23 | Sep 23 | Okt 23 | Nov 23 | Mai 24 | Jun 24 | Jul 24 | Aug 24 | Sep 24 | Okt 24 | Nov 24 |
|-----------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cys | 4.13 | 4.37 | 4.40 | 4.22 | 3.95 | 3.86 | 3.95 | 4.07 | 4.05 | 4.40 | 3.81 | 3.26 | 3.18 |
| Asx | 37.65 | 38.90 | 40.20 | 39.61 | 38.42 | 29.96 | 36.50 | 38.41 | 42.50 | 41.50 | 37.61 | 30.04 | 28.71 |
| Met | 5.25 | 5.66 | 5.51 | 5.47 | 5.34 | 4.53 | 5.11 | 5.49 | 5.52 | 5.61 | 5.49 | 4.82 | 4.45 |
| Thr | 13.78 | 14.49 | 14.62 | 14.25 | 14.36 | 12.39 | 13.56 | 14.34 | 14.57 | 14.90 | 14.51 | 12.49 | 12.06 |
| Ser | 14.38 | 15.43 | 15.35 | 14.83 | 14.78 | 12.46 | 14.20 | 14.98 | 15.51 | 15.94 | 15.26 | 12.82 | 12.35 |
| Glx | 34.50 | 35.27 | 35.35 | 34.67 | 35.16 | 30.63 | 34.36 | 35.68 | 35.62 | 36.58 | 34.79 | 30.77 | 29.49 |
| Pro | 14.07 | 14.64 | 15.13 | 15.11 | 15.49 | 13.49 | 14.22 | 14.71 | 15.41 | 15.44 | 15.13 | 13.34 | 12.85 |
| Gly | 16.92 | 17.91 | 17.57 | 17.41 | 17.68 | 15.27 | 16.43 | 17.02 | 17.18 | 17.61 | 17.05 | 14.79 | 14.19 |
| Ala | 18.96 | 19.67 | 19.82 | 19.89 | 20.22 | 17.50 | 19.66 | 20.00 | 19.76 | 20.12 | 20.86 | 19.52 | 17.92 |
| Val | 18.17 | 18.97 | 19.53 | 19.43 | 20.01 | 16.85 | 17.07 | 18.30 | 19.06 | 19.93 | 18.99 | 16.82 | 16.14 |
| Ileu | 13.66 | 14.38 | 14.66 | 14.56 | 14.96 | 12.35 | 12.57 | 13.56 | 14.08 | 14.86 | 13.98 | 12.36 | 11.97 |
| Leu | 25.28 | 26.45 | 26.60 | 26.27 | 26.52 | 22.92 | 23.99 | 26.11 | 26.66 | 27.36 | 26.18 | 23.12 | 21.93 |
| Tyr | 10.81 | 11.32 | 11.58 | 11.57 | 11.58 | 9.94 | 9.57 | 10.98 | 12.10 | 12.04 | 11.39 | 9.36 | 9.04 |
| Phe | 16.08 | 16.73 | 16.99 | 16.61 | 17.15 | 14.42 | 15.00 | 16.19 | 16.35 | 16.70 | 15.84 | 13.81 | 13.33 |
| Lys | 18.37 | 19.41 | 19.65 | 19.06 | 19.03 | 16.17 | 16.76 | 18.42 | 19.11 | 19.61 | 18.08 | 16.00 | 15.05 |
| His | 6.25 | 6.52 | 6.79 | 6.47 | 6.59 | 5.90 | 5.73 | 6.18 | 6.50 | 6.62 | 6.19 | 5.63 | 5.44 |
| Arg | 21.56 | 22.83 | 22.15 | 21.44 | 20.53 | 19.00 | 20.35 | 21.48 | 21.22 | 20.47 | 19.19 | 20.58 | 22.00 |

Zusätzlich zu den gepoolten Monatsproben wurden im August auch jeweils pro Becken WL geerntet, getrocknet und auf Rohfaser und Rohprotein analysiert. Die Ergebnisse stellten sich wie folgt da.

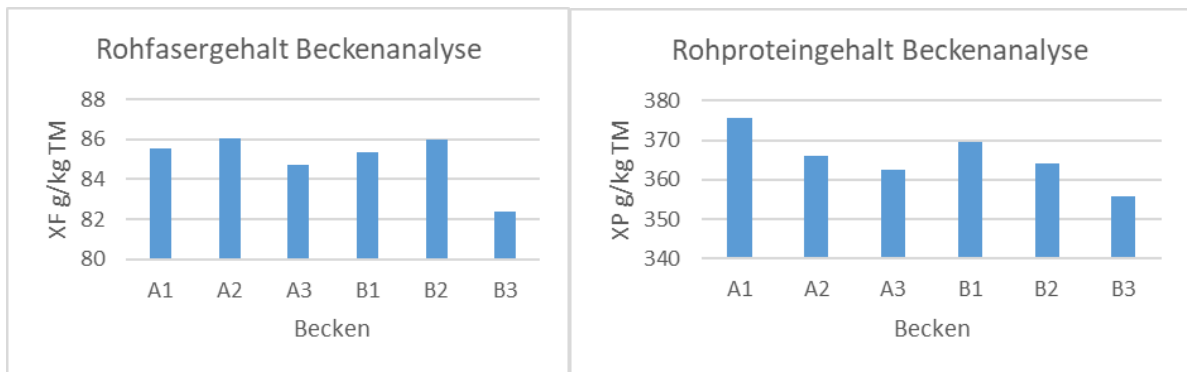


Abb. 41: Rohfasergehalt g/kg TM und Rohproteingehalt g/kg TM - Analyse der Wasserlinsen Becken A1-A3 und B1-B3

Tab. 23 Nährstoffanalyse Beckenanalyse Wasserlinsen

| | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| XF g/kg TM | 85.5 | 86.0 | 84.7 | 85.3 | 86.0 | 82.4 |
| XP g/kg TM | 375.5 | 366.0 | 362.4 | 369.7 | 364.2 | 355.9 |

3.6 Wasseranalysen – Anlage DNTW Göttingen

Zusätzlich zu den Analysen der WL wurde 2024 auch das Wasser der Becken jeweils am Einlauf (A1, B1) der Anlage und am Auslauf (A3, B3) auf Nitrat, Phosphat und Ammonium getestet. Im Jahresverlauf ergaben sich dafür für die Monate Juni bis November folgende Ergebnisse.

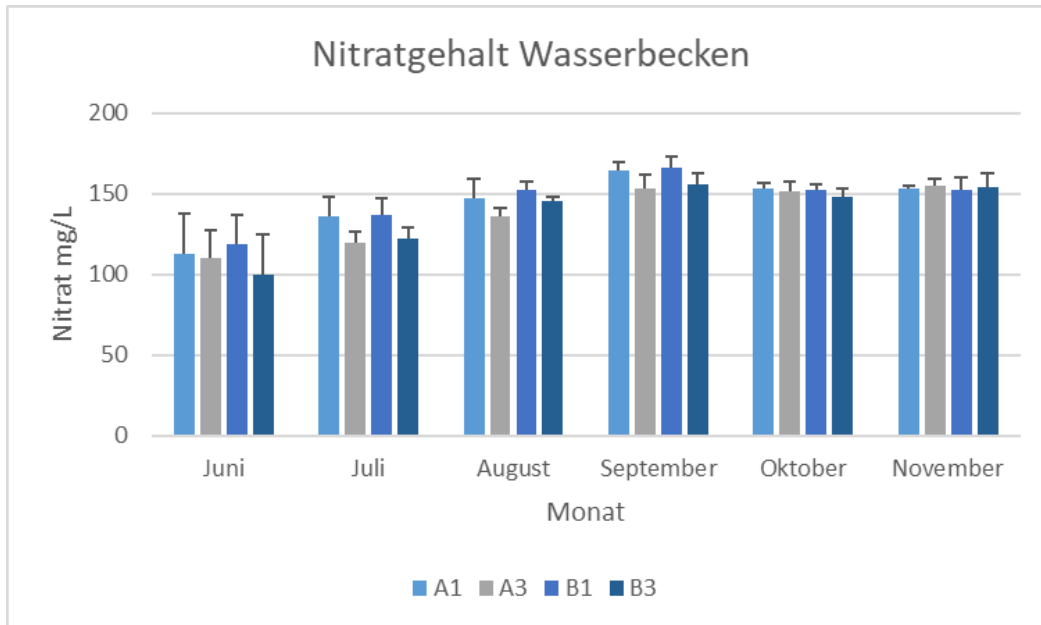


Abb. 42: Nitratgehalt mg/L Einlauf Becken A1/ B1 und Auslauf Becken B1 / B3

Die Nitratgehalte stiegen im Laufe des Jahres an. Im September konnten die höchsten Nitratgehalte gemessen werden (Abbildung 42).

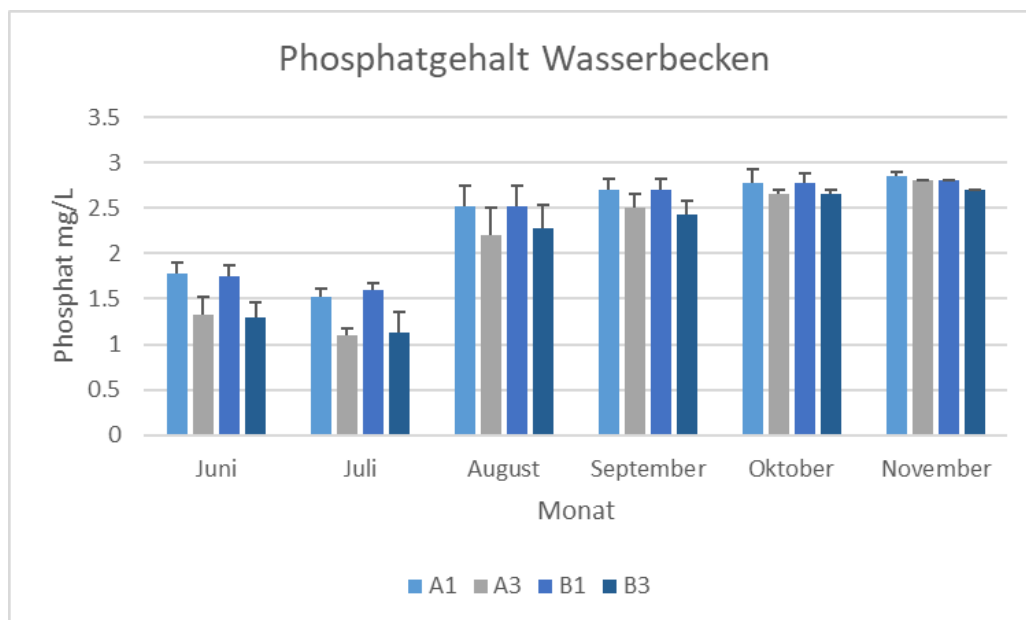


Abb. 43: Phosphatgehalt mg/L Einlauf Becken A1/B1 und Auslauf Becken A3/B3

Die Phosphatgehalte stiegen von Juli auf August fast verdoppelt und blieben von August bis September recht konstant (Abbildung 43).

Die Temperatur der Wasserbecken nahm dabei von anfangs 27°C auf 10°C im November ab. Ab Mitte September fiel die Wassertemperatur erstmals unter 20 °C.

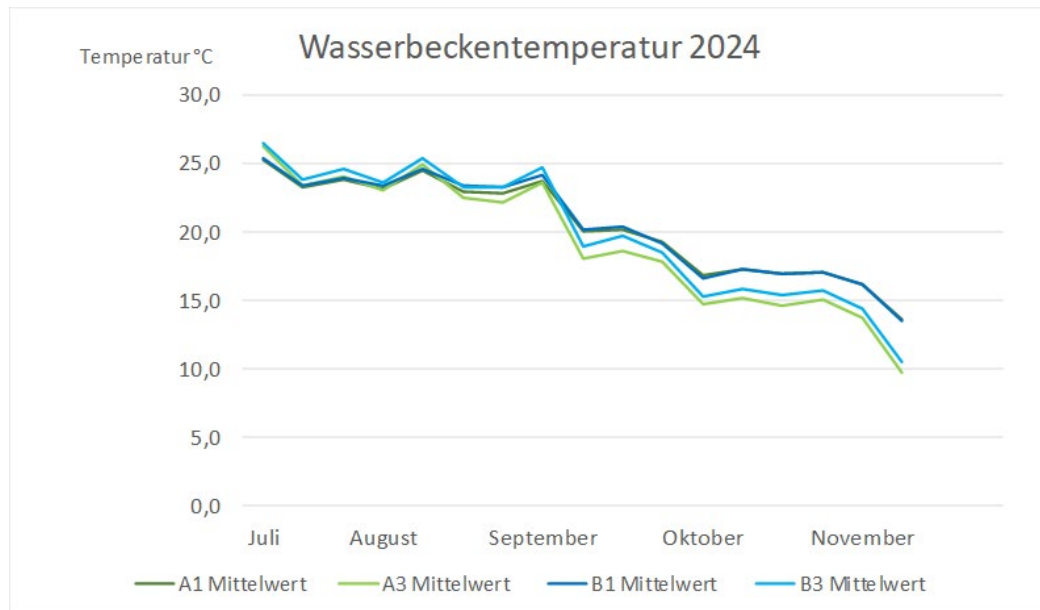


Abb. 44: Wassertemperatur Mittelwerte der Becken A1, A3, B1 und B3 von Juli bis November 2024

Im Gewächshaus konnten im Juli Temperaturen bis zu 50°C gemessen werden. Bis September kam es zu tageszeitlichen Temperaturschwankungen von bis zu 30°C. (Abb.:45)

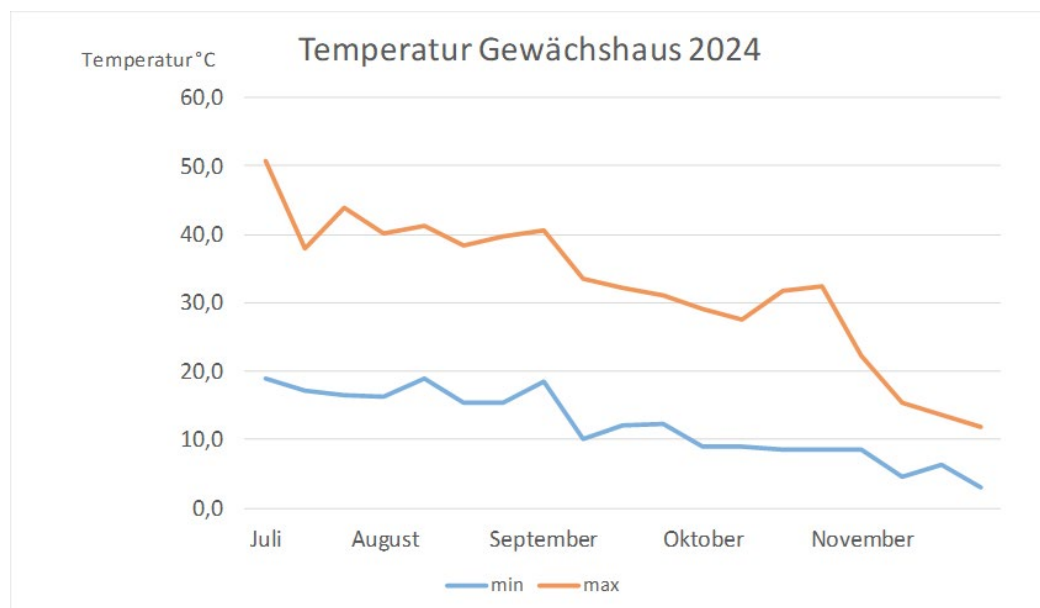


Abb. 45: Temperatur im Gewächshaus min und max. Temperatur von Juli bis November 2024

Abbildung 46 zeigt die Luftfeuchtigkeit in %.

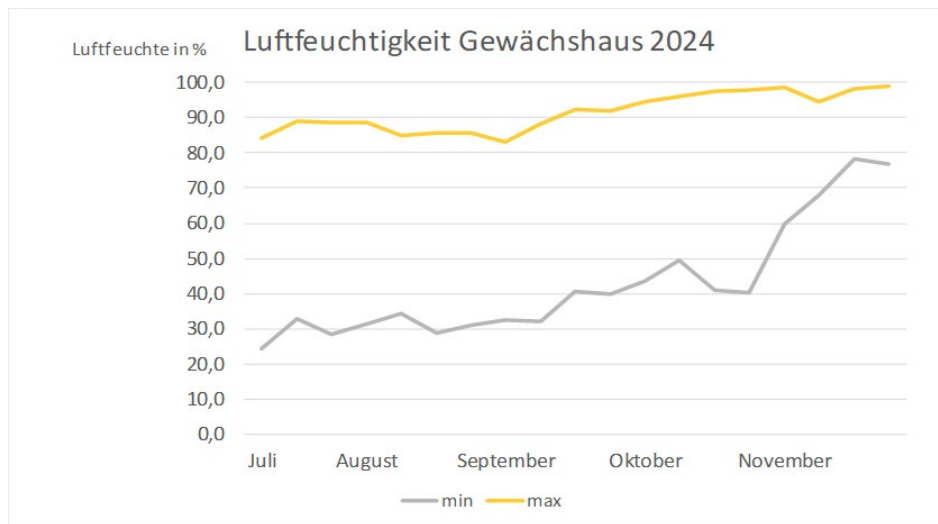


Abb. 46: Luftfeuchtigkeit % im Gewächshaus Juli bis November 2024

3.7 Silierversuch

Versuchsbeschreibung

Für den Silierversuch konnten 8 kg Frischmasse von der NOVAgreen Projektmanagement GmbH Anfang November einsiliert werden. Aufgrund des geringen Trockenmassegehaltes (6 % TM) blieben neben 2 kg Frischmasse zur Trockenmassebestimmung und Analyse des Ausgangsmaterials jeweils 2 kg Frischmasse für eine Kontrolle und zwei Behandlungen. Aufgrund des hohen Wassergehaltes der Proben und der sich daraus resultierenden Probleme beim Einsilieren mit den Vakuumierbeuteln (Abbildung 47) (Ziehen von Wasser) wurden den WL in einer Behandlung Trockenschnitzel (zuckerextrahierte Rübenschnitzel, 15 % Restzucker) in einer Menge von 350 g/kg und in der zweiten Behandlung gequetschter Hafer (ebenfalls 350 g/kg) zuge-mischt, um so den Trockenmassegehalt entsprechend zu erhöhen. In Vierfachbestimmung (4 Beutel á 500 g) wurden die Proben entsprechend der Behandlungen in Vakuumierbeuteln einsiliert und für mind. 90 Tage im Dunkeln bei konstanter Temperatur gelagert. (Abbildung 48)



Abb. 47: Beispiel Vakuumierbeutel



Abb. 48: Silage Vechta Kontrolle (Wasserlinsen); Wasserlinsen + Rübenschnitzel; Wasserlinsen + Hafer (von links nach rechts)

Nach dem Öffnen der Silagen wurden 2x 25 g in Gefrierbeutel abgefüllt und für eine spätere Analyse des Gärsäuren-musters eingefroren. Weitere 25 g Probenmaterial wurden in einen Stomacher-Beutel gefüllt und 125 ml H₂O (dest.) dazugegeben. Für jeweils 5 min wurde die Probe anschließend im Stomacher bearbeitet und extrahiert; die Flüssigkeit aus dem Beutel wurde anschließend in ein Becherglas überführt und der pH-Wert der Probe gemessen (Abb.:49).

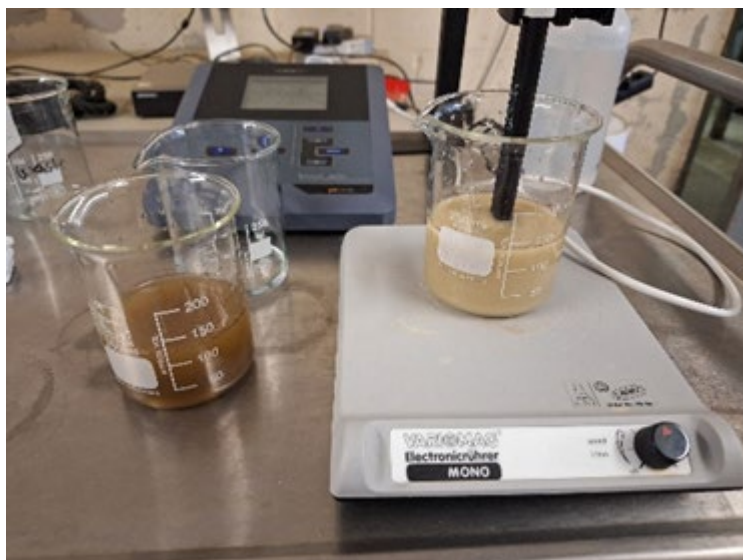


Abb. 49: pH-Wert - Messung Silageproben

Für eine weitere Behandlung mit Siliermitteln wurden die WL auf der Anlage am DNTW der Georg-August-Universität Göttingen Mitte November komplett geerntet und die WL zunächst an der Luft und anschließend im Trockenschrank (30°C) vorgetrocknet. Aufgrund des hohen Wassergehaltes blieb nur Probenmaterial für eine Kontrolle und eine Behandlung mit Siliermittel (Mais Kofasil Liquid). Auch hier wurden die Proben jeweils in Vierfachbestimmung je Behandlung einsiliert (4 Beutel á 200 g). Das Siliermittel Mais Kofasil Liquid (Natriumbenzoat, Natriumpropionat) wurde aufgrund der geringen Probenmenge und für eine bessere Verteilung direkt in die Beutel gegeben (2,5 ml pro Beutel) und gut durchmischt. Auch diese Proben wurden für mind. 90 Tage bei konstanter Temperatur dunkel gelagert.

Ergebnisse und Auswertung

Tabelle 24 zeigt die Analysenergebnisse des Ausgangsmaterials für die Silagen. Durch den Einsatz von Rübenschnitzeln bzw. gequetschtem Hafer war es möglich den Trockenmassegehalt der WL von 6.8 % auf 28.0 % bzw. 27.5 % zu erhöhen.

Tab. 24: Zusammensetzung Ausgangsmaterial Silierversuch Vechta und DNTW

| | Vechta | | | DNTW | | |
|-------------------|---------------|----------------|-------|---------------------------------|------------------------|--------------|
| | Wasserlinsen | Rübenschnitzel | Hafer | Wasserlinse + Rübenschnitzel | Wasserlinse + Hafer | Wasserlinsen |
| TM % | 6.8 | 90.4 | 88.5 | 28.0 | 27.5 | 22.8 |
| XP g/kg TM | 206.1 | 79.9 | 121.1 | 103.9 | 137.0 | 307.9 |
| XL g/kg TM | 32.7 | 7.4 | 54.7 | 12.7 | 52.7 | 33.4 |
| XF g/kg TM | 154.7 | 170.6 | 93.8 | 169.7 | 114.4 | 91.3 |
| Zucker | 0 | 125.1 | 16.2 | 166.4 | 13.8 | 22.0 |

Tabelle 25 zeigt die Analysen der Silagen nach der Öffnung. Durch den Einsatz von Rübenschnitzeln und gequetschtem Hafer Wasserlinsengemisch konnte der pH-Wert auf 4.45 bzw. 4.28 gesenkt werden. Den prozentual größten Masseverlust gab es bei der Silagen aus Vechta bei der Kontrolle.

Tabelle 25: Nährstoffanalyse Silagen Wasserlinsen Vechta und DNTW

| | Vechta | | | DNTW | |
|-------------|---------------|---------------------------------|------------------------|-------------|--------------------------------|
| | Kontrolle | Wasserlinse + Rübenschnitzel | Wasserlinse + Hafer | Kontrolle | Wasserlinsen + Siliermittel |
| TM % | 6.8 | 27.9 | 27.5 | 23.6 | 25.1 |

| | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| XP g/kg TM | 185.3 | 109.0 | 146.4 | 308.2 | 302.5 |
| XF g/kg TM | 162.3 | 173.8 | 113.8 | 92.9 | 90.1 |
| pH - Wert | 5.89 | 4.45 | 4.28 | 6.04 | 6.27 |
| Masseverlust % TM | 6.9 | 3.2 | 5.7 | 5.6 | 3.8 |

3.8 Versuch zu Nährstoffentzug durch Wasserlinsen aus Prozesswasser

Versuchsaufbau

An der Georg-August-Universität Göttingen wurde im Zeitraum vom 23. bis 29. August 2022 ein Versuch zur Untersuchung des Nährstoffeliminationsvermögens von Wasserlinsen (WL) durchgeführt. Die Studie entstand im Rahmen einer Bachelorarbeit von Herrn Tilmann Coennen mit dem Titel „Wasserlinsen (*Lemna minor* und *Spirodela polyrhiza*) als alternative Proteinquelle in der Nutztierhaltung und deren Einfluss auf die Emissionsminderung von Prozesswasser einer Aquakulturanlage“, eingereicht am 19. März 2023.

Der Versuch wurde im Freien durchgeführt, wodurch die Versuchsanordnung äußeren Witterungseinflüssen ausgesetzt war. Zum Schutz vor Regen und direkter Sonneneinstrahlung wurde ein handelsübliches To-matendach über den Versuchsboxen installiert. Insgesamt wurden drei Behandlungsgruppen und eine Kontrollgruppe angelegt, jeweils bestehend aus transparenten Kunststoffboxen mit einem Füllvolumen von 18,76 Litern. Als Versuchsmedium diente Prozesswasser aus der rezirkulierenden Aquakulturanlage des Departments für Nutztierwissenschaften, das aus derselben Entnahmestelle für alle Boxen verwendet wurde.

Die drei Versuchsboxen wurden jeweils mit 70 g abgeseibter Frischmasse einer Wasserlinsenmischung beimpft, bestehend aus *Lemna minor* (83,47 %) und *Spirodela polyrhiza* (16,53 %), welche zuvor auf Prozesswasser derselben Aquakulturanlage vorkultiviert worden war. Die vierte Box diente als Kontrolle und blieb frei von Pflanzenbewuchs (Abbildung 50).

Während der Versuchsdauer wurden täglich Wasserproben entnommen und mithilfe photometrischer Rechteckküvettestests analysiert. Die untersuchten Parameter umfassten Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-), Ammoniak (NH_3) sowie Gesamtphosphor (P), letzterer bestimmt mittels Rundküvettest (NANOCOLOR, Macherey-Nagel, Düren, Deutschland). Der pH-Wert wurde mithilfe eines Flüssigindicators im Bereich pH 4–10 bestimmt. Zusätzlich wurde die Wassertemperatur regelmäßig aufgezeichnet. Nach jeder Probenahme wurde die entnommene Wassermenge durch destilliertes Wasser ersetzt.

Zur Dokumentation sichtbarer Veränderungen der Wasserlinsen wurden tägliche Fotografien der Boxen angefertigt (Abbildung 50). Am Ende des Versuchs wurden die Pflanzen aus den Boxen entnommen und auf ihren Rohproteingehalt nach Kjeldahl sowie den Phosphorgehalt photometrisch untersucht.

Es ist anzumerken, dass das Ausgangsmaterial der Wasserlinsen Fadenalgen enthielt, die unbeabsichtigt in die Versuchsboxen eingebracht wurden und sich während der Versuchsdauer vermehrten.

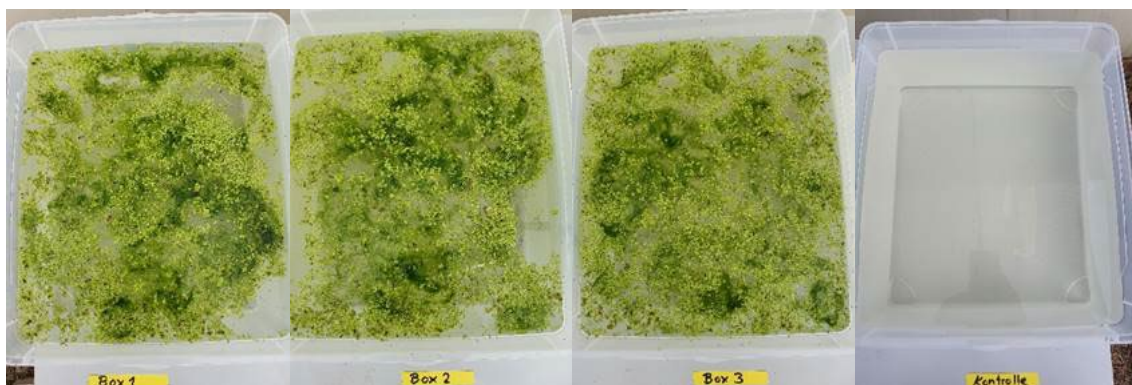


Abb. 50: 70g WL in Box 1,2, und 3 sowie die Kontrollbox mit Prozesswasser am ersten Tag des Versuches

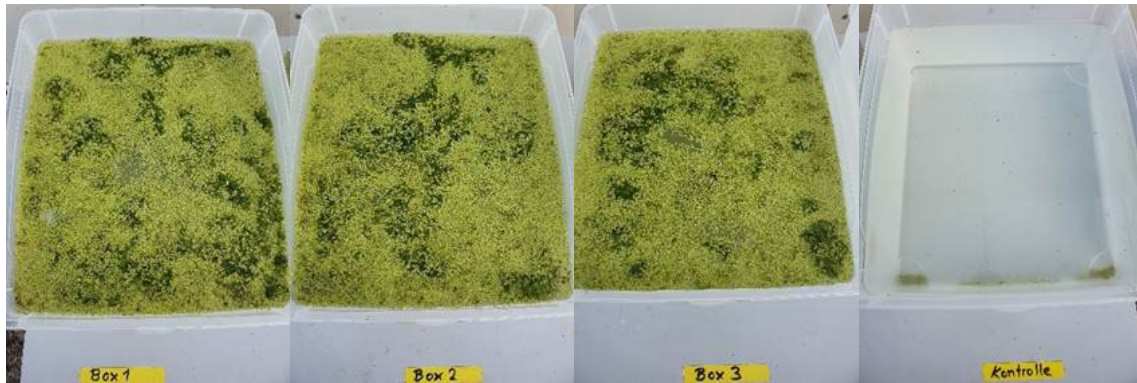


Abb. 51: WL in Box 1,2, und 3 sowie die Kontrollbox mit Prozesswasser am letzten Tag des Versuches

Zur Bestimmung des Rohprotein- und Phosphorgehalts sowie zur Erfassung der Biomasse wurden die Wasserlinsen nach Abschluss des Versuchszeitraums aus den Versuchsboxen entnommen. Zunächst wurde die Frischmasse bestimmt, anschließend wurden die Proben getrocknet, homogenisiert (gemahlen) und analysiert. Als Kontrollprobe dienten Wasserlinsen derselben Herkunft wie jene, die im Versuch eingesetzt wurden.

Das gewonnene Probenmaterial wies einen mittleren Trockensubstanzgehalt von 3,86 % auf und reichte mengenmäßig lediglich für die Bestimmungen des Rohproteingehalts mittels Kjeldahl-Methode sowie des Phosphorgehalts nach dem Culatti-Verfahren aus.

Ergebnisse

Wassertemperatur und pH-Wert

Die Wassertemperaturen waren umgebungsbedingten Schwankungen ausgesetzt und lagen im Durchschnitt bei 23,2°C. Der Maximalwert lag bei 36,1°C und der Tiefstwert bei 10,8 °C. Der pH-Wert des Ausgangswassers lag bei 7,5 und blieb im Versuchsablauf in der Kontrollbox ohne WL stabil bei diesem Wert. In allen drei Boxen mit Wasserlinsenbesatz erhöhte sich der pH-Wert im Laufe des Versuches auf 9.

Phosphat

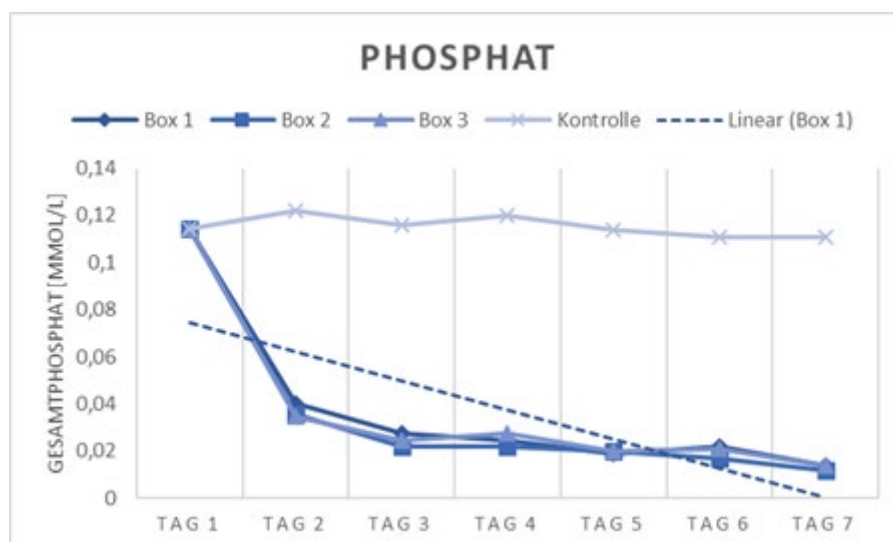


Abb. 52: Phosphatgehalt im Wasser im Verlauf

Zu Beginn des Versuches lag der Phosphatgehalt in allen vier Boxen bei 0,114 mmol/L und hatte sich am Versuchsende in den mit WL besetzten Boxen auf durchschnittlich 0,013 mmol/L verringert. In der Kontroll-

box lag er am letzten Versuchstag bei 0,111 mmol/L. Der Endgehalt der mit WL besetzten Boxen ist signifikant geringer als in der Kontrollbox (T-test, $p=0,0002$). Der Verlauf der Phosphatabnahme ist in Abbildung 52 dargestellt.

Ammonium

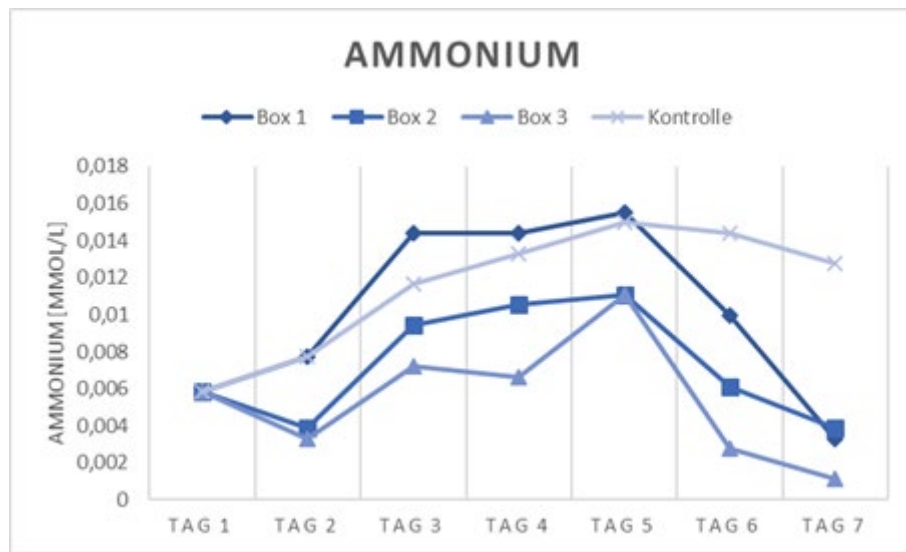


Abb. 53: Ammoniumgehalt im Wasser im Versuchsverlauf

Der Ammoniumgehalt des Wassers lag am Anfang bei 0,0058 mmol/L. Im Verlauf des Versuches stieg der Ammoniumgehalt an mit einem maximalen Wert in Box 1 am 5. Tag von 0,0155 mmol/L. Nach diesem Scheitelpunkt sank der Gehalt in allen Boxen ab. In den mit WL besetzten Boxen sank er auf im Durchschnitt 0,0028 mmol/L. In der Kontrollbox lag er am letzten Versuchstag bei 0,0127 und zeigte damit einen signifikant höheren Gehalt (T-test, $p=0,0276$).

Nitrat

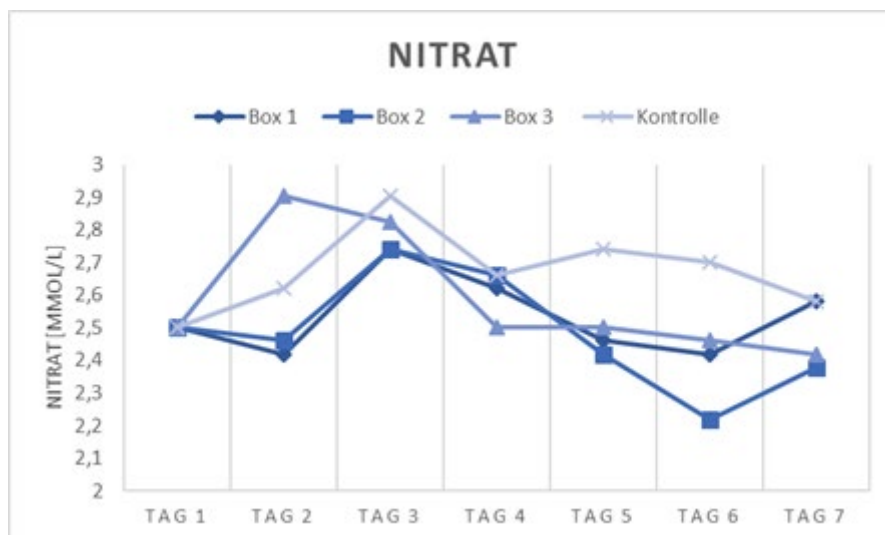


Abb. 54: Nitratgehalt im Wasser im Versuchsverlauf

Das Anfangsgehalt von 2,5 mmol/L Nitrat stieg in der Kontrolle auf einen Endwert von 2,580 mmol/L. In den mit WL besetzten Boxen lag der Endwert im Mittel bei 2,459 mmol/L und war damit nicht signifikant (T-test, $p=0,4296$) geringer als die Kontrolle. Im Versuchsverlauf zeigten sich Schwankungen im Nitratgehalt, die jedoch keinen klaren Trend aufwiesen (Abbildung 54).

Nitrit

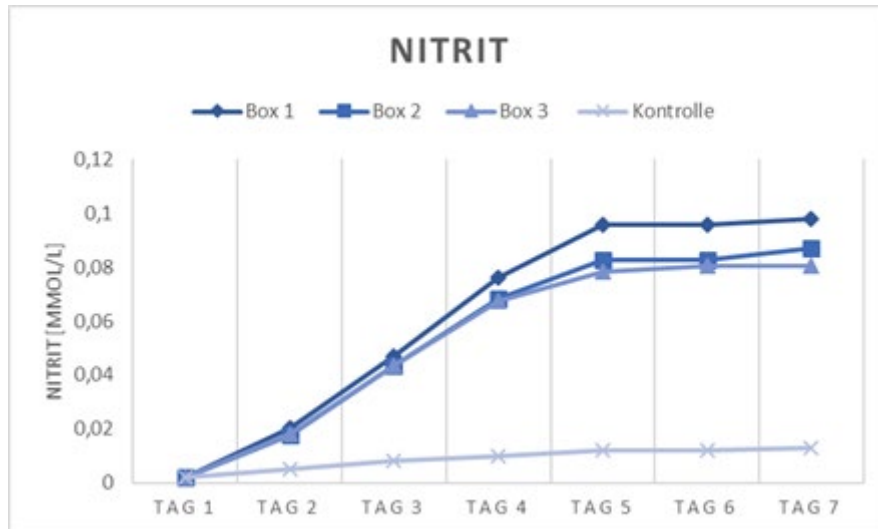


Abb. 55: Nitritgehalt im Wasser im Versuchsverlauf

Der Anfangswert von 0,0021 mmol/L Nitrit stieg in den mit WL besetzten Boxen auf im Mittel 0,0884 mmol/L. In der Kontrollbox ohne WL lag er am letzten Versuchstag bei 0,0130 mmol/L und war damit signifikant geringer (T-test, $p=0,0176$) als in den mit WL besetzten Boxen (Abbildung 55).

Gesamtstickstoff

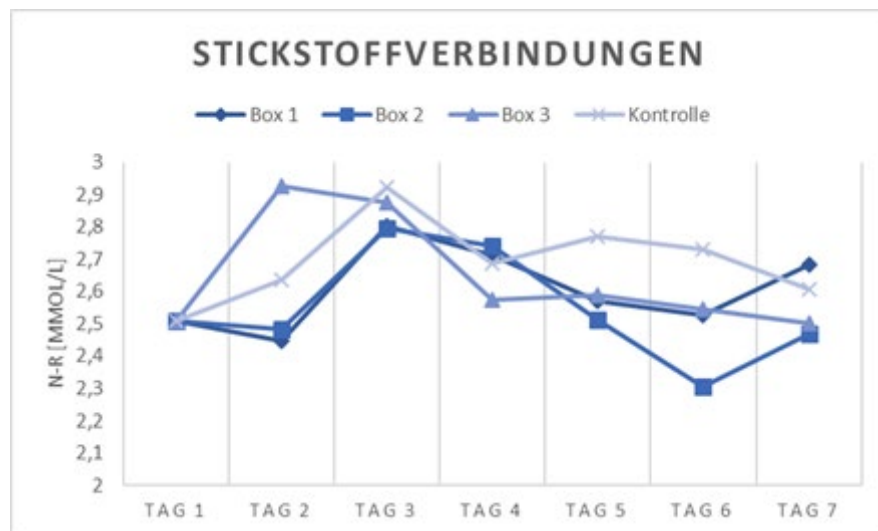


Abb. 56: Summe der Stickstoffverbindungen im Wasser im Versuchsverlauf

Die Summe aller gemessenen Stickstoffverbindungen ergibt einen Anfangswert von 2,5070 mmol/L in allen Boxen. Am Ende des Versuches lässt sich in den mit WL besetzten Boxen im Mittel ein Gehalt von 2,5509 mmol/L feststellen (Abbildung 56). In der Kontrollbox liegt der Wert bei 2,6064 mmol/L, der Unterschied ist nicht signifikant (T-test, $p=0,7150$).

Wasserlinsen – Rohprotein und Phosphatgehalt

Tab. 26: Analysewerte und Gewicht der WL aus den Versuchsboxen und 0 Probe

| Probe | Rohprotein (g/Kg TS) | Phosphor (g/Kg TS) | Gewicht FM (g) |
|----------------------------|----------------------|--------------------|----------------|
| 0 Probe (Kontrolle) | 276 | 12.0 | 70 |
| WL aus Box 1 | 270 | 15.6 | 86 |
| WL aus Box 2 | 260 | 15.7 | 92 |
| WL aus Box 3 | 264 | 14.1 | 77 |

Aus den Daten von Tabelle 26 ist erkennbar, dass eine Reduktion des Rohproteingehalts in den WL aus den Versuchsboxen stattgefunden hat (Tabelle 26). Der Gehalt lag $11,33 \pm 5,812$ g/Kg TS unter dem Wert aus dem Ausgangsmaterial und ist nicht signifikant (T-test, $p=0,1905$). Der Phosphorgehalt ist in den WL aus den Versuchsboxen $3,133 \pm 1,035$ g/Kg TS höher als im Ausgangsmaterial. Auch dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant (T-test, $p=0,0940$). Die ursprünglichen 70g Ausgangsmaterial aus jeder Box haben sich nach Versuchsende um $15,00 \pm 8,718$ g erhöht und zeigen damit eine nicht signifikante (T-test, $p=0,2275$) Erhöhung auf.

Bewertung und weiterführende Fragestellungen

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Besatz mit Wasserlinsen zu einer deutlichen und raschen Abnahme des Phosphatgehalts im Prozesswasser geführt hat. Die Analyse der Pflanzenbiomasse auf Phosphor legt nahe, dass das aufgenommene Phosphat größtenteils in den Wasserlinsen angereichert wurde.

Die Stickstoffparameter zeigten keine signifikante Reduktion durch den Einsatz der Wasserlinsen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass während des Versuchs ein sichtbares Pflanzenwachstum stattfand, welches vermutlich Stickstoff aus dem Wasser als Nährstoffquelle nutzte. Ein klarer Rückgang konnte lediglich beim Nitritgehalt beobachtet werden. Dies könnte auf die Aktivität nitrifizierender Bakterien hinweisen, die Nitrit unter Sauerstoffeinfluss zu Nitrat oxidieren. Ein möglicher Eintrag solcher Mikroorganismen könnte über die Wasserlinsen selbst erfolgt sein.

Für belastbare Aussagen zur Stickstoff- und Phosphorelimination durch Wasserlinsen aus nährstoffhaltigen Aquakulturabwässern sind weiterführende Studien unter kontrollierten Bedingungen erforderlich. Hierfür bietet sich ein klimatisierter Raum mit standardisierter künstlicher Beleuchtung an, um äußere Umwelteinflüsse auszuschließen.

Der Versuch hat gezeigt, dass ein Großteil des Phosphats bereits nach einem Tag entfernt wurde. Möglicherweise fungierte Phosphat im weiteren Verlauf als limitierender Nährstofffaktor, was eine fortgesetzte Stickstoffaufnahme behinderte. Es wäre daher sinnvoll, in künftigen Versuchen die Nährstoffverhältnisse gezielt zu steuern, etwa durch definierte Vordüngung des Prozesswassers.

Zudem sollte bei Folgeuntersuchungen auf eine algenfreie Herkunft der eingesetzten Wasserlinsen geachtet werden, um unerwünschte Einträge von Begleitorganismen zu vermeiden, die die Versuchsergebnisse verfälschen könnten.

3.9 Versuch zu Tierwohleffekten von Wasserlinsen auf Tilapien

Versuchsaufbau

In der Aquakulturanlage am Albrecht-Thaer-Weg der AG Aquakultur der Universität Göttingen wurde im Projektzeitraum von ReWali ein Versuch mit Tilapien (*Oreochromis niloticus*) und WL durchgeführt. Ziel des Versuches war festzustellen, ob WL in der Haltungsumgebung von Tilapien einen Effekt auf deren Wachstum und Tierwohlindikatoren haben.

Der Versuch startete am 12.12.2022 und endete am 23.01 und 24.01.2023 mit dem Töten der Fische zu wissenschaftlichen Zwecken. Das Schnittgewicht der Fische wurde am Anfang bestimmt und über den Versuchsablauf wurden zwei Zwischenwiegungen mit Bestimmung des Schnittgewichts durchgeführt. Die 1. Zwischenwiegung fand nach 2 Wochen (26.12.2023) und die 2. Zwischenwiegung nach 4 Wochen (09.01.2023) statt.

Für den Versuch wurden insgesamt 120 Fische verwendet, die auf sechs Aquarien mit jeweils 20 Fischen aufgeteilt waren. Drei der Aquarien (V1-V3, im weiteren V) waren der Versuchsgruppe zugeordnet und 3 der Kontrollgruppe (K4-K6, im weiteren K). Beide Gruppen wurden entsprechend ihrer Körpermasse mit 4% des Lebendgewichts mit einem handelsüblichen Futter mit einer Pelletgröße von 2mm zweimal am Tag gefüttert. Das nicht aufgenommene Futter wurde zurückgewogen. Die drei Becken der Versuchsgruppe wurden zu Beginn des Versuches mit 50g WL-Frischmasse bedeckt. Die Fische hatten jederzeit Zugang zu den Pflanzen und konnten diese ad libitum aufnehmen. Sobald die Wasseroberfläche zu weniger als 50% mit WL bedeckt war, wurden erneut 25g bzw. 50 WL-Frischmasse nachgesetzt.

Der Versuch fand in einer Warmwasserhalle in einem rezirkulierenden System mit Feststoff- und Biofilter statt. Über den gesamten Versuchsablauf wurden täglich die Temperatur, die Sauerstoffsättigung, der Sauerstoffgehalt, der Ammonium- und der Nitritgehalt sowie der pH-Wert dokumentiert. Bei einem Absinken des pH-Wertes wurde mit 2,5g Natriumcarbonat gepuffert. Nach sechs Wochen wurden die Fische tierschutzgerecht geschlachtet. Auf die Betäubung per Kopfschlag folgte die Tötung mittels Kiemenrundschnitt. Das Individualgewicht, die Gesamtlänge und die Hautfarbe mittels L*a*b-Werten wurde bestimmt.

Zur Beurteilung des Vorkommens von Flossenschäden wurden die Bauch- und Brustflosse jedes Fisches mit einer Schere am Flossenansatz abgeschnitten (Abbildung 57), in einer Petrischale angeordnet und auf einem beleuchteten Tisch fotografiert (Abbildung 58). Die Flossen wurden nach einer dreistufigen Skala von 0=ohne Schäden, 1=geringe Schäden und 3=deutliche Schäden beurteilt.



Abb. 57: Präparation der Brustflosse



Abb. 58: Darstellung der Brust- und Bauchflossen zur Anwendung des Scores

Anschließend wurden die Fische filetiert und die Filetfarbe mittels L*a*b-Werten bestimmt.

Ergebnisse

Wasserlinsenaufnahme

Die Beobachtung der Fische zeigte, dass WL regelmäßig und freiwillig über den gesamten Versuchsdurchlauf aufgenommen wurden. Fortwährend wurden die Becken mit neuer WL-Frischmasse besetzt, sodass eine geschlossene Decke gewährleistet wurde. Die Becken V1, V2 und V3 wurden über den gesamten Versuchsdurchlauf mit 550 g, 600 g und 550 g WL-Frischmasse besetzt.

Wachstumsparameter

Tab. 27: Werte sind Mittelwerte mit Standardabweichungen. Signifikanz bei $p < 0,05$ (Tukey's Test)

| | V (n=60) | K (n=60) | p-Wert |
|--------------------------|---------------|---------------|--------|
| Startgewicht (g) | 16,57 ± 0,15 | 16,5 ± 0 | 0,7000 |
| Endgewicht (g) | 45,79 ± 12,32 | 43,86 ± 11,25 | 0,3710 |
| Zuwachs (g) | 24,28 ± 8,64 | 22,66 ± 7,85 | 0,3510 |
| Futtermverwertung | 1,04 ± 0,19 | 1,01 ± 0,13 | 0,7551 |
| Länge (mm) | 127 ± 10,77 | 125,2 ± 10,38 | 0,3414 |

Die Daten aus Tabelle 27 zeigen keine statistischen Signifikanzen bei Wachstum, Futtermverwertung und Länge der Schlachtkörper.

Farbgebung Haut

Abbildungen 59-61 zeigen die Ergebnisse der Farbmessung nach dem L*a*b System. Der a*Wert weist keinen signifikanten Unterschied (T-test, $p=0,9086$) zwischen den Gruppen auf und damit auf keinen messbaren Unterschied in der rot-grün-Farbgebung der Haut hin. Der b*Wert ist in V signifikant erhöht (T-test, $p<0,0001$) und weist auf einen höheren Gelbanteil in der Hautfarbe hin. Der L*Wert zeigt keinen signifikanten Unterschied (T-test, $p=0,1445$), daher sind Helligkeitsunterschiede in der Haut nicht nachweisbar.

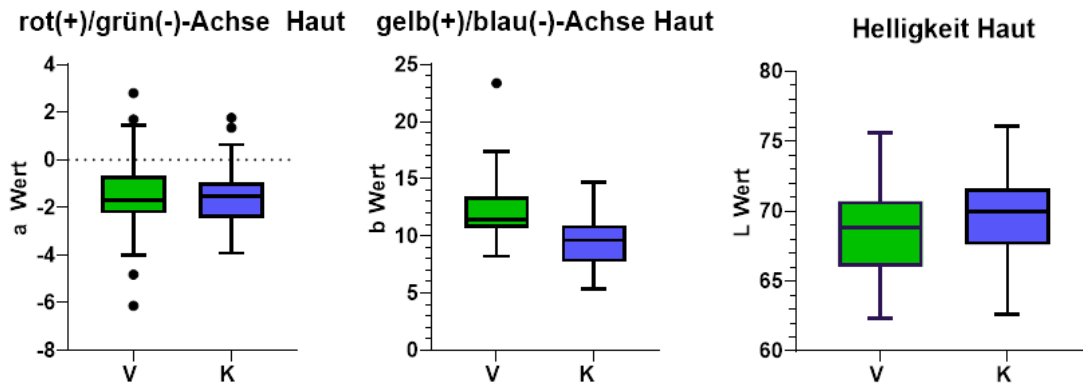


Abb. 59: a*Wert Haut

Abb. 60: b*Wert Haut

Abb. 61: L*Wert Haut

Farbgebung Filet

Abbildungen 62-64 bilden die Ergebnisse der Farbmessung nach dem L*a*b-System ab. Der a*Wert im Filet weist keinen signifikanten Unterschied in den Gruppen auf (T-test, $p=0,1958$). Es ist demzufolge kein Farbumterschied auf der Rot-grün-Achse festzustellen. Der b*Wert ist in V erhöht (T-test, $p=0,0016$), diese haben demzufolge mehr Gelbanteile in der Farbgebung. Der L-Wert ist in K signifikant erhöht (T-test, $p=0,0084$), diese sind also heller als die Vergleichsgruppe mit WL.

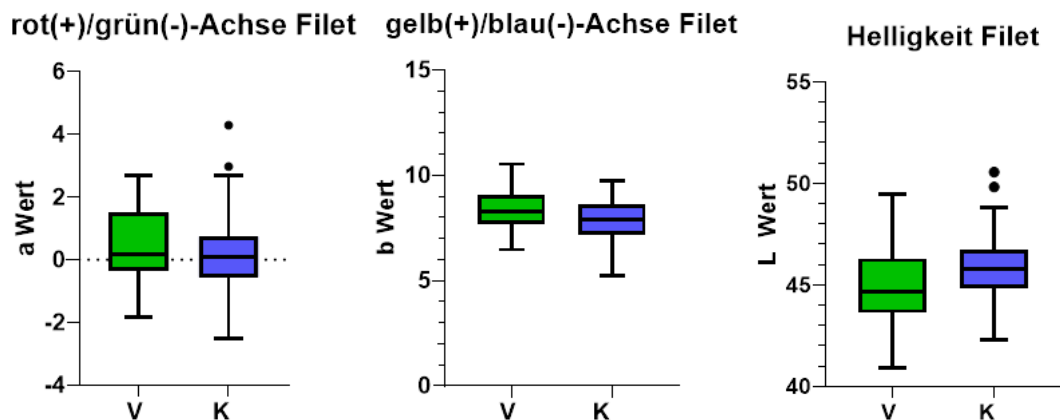


Abb. 62: a*Wert Filet

Abb. 63: b*Wert Filet

Abb. 64: L*Wert Filet

Fischflossen-scoring

Die Auswertung der Daten (Abbildung 65) zeigt, dass der Score der Brustflossen von V mit einem Mittelwert von 1,31 signifikant höher (Mann-Whitney Test, $p=0,0157$) ist als in K (Mittelwert = 1,03). Bei den Bauchflossen ist zwar ein Trend zu einem höheren Score in V (Mittelwert = 0,574) im Vergleich zu K (Mittelwert = 0,417) erkennbar, dieser ist jedoch nicht signifikant (Mann-Whitney Test, $p=0,2016$).

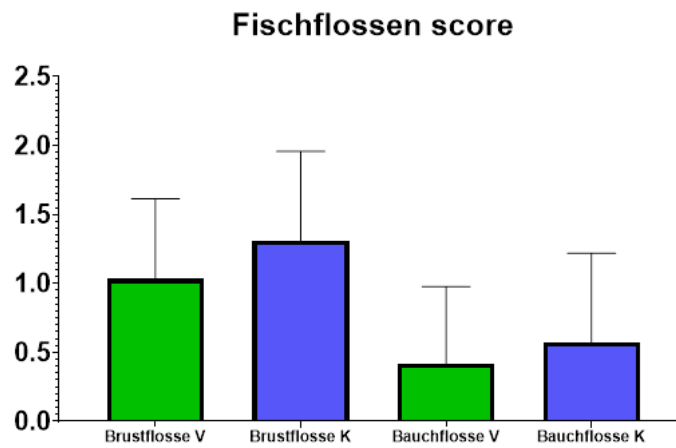


Abb. 65: Score von Brust- und Bauchflossen

Bewertung und weiterführende Fragestellungen

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Bereitstellung von WL in der Haltungsumgebung von Tilapia keinen Einfluss auf das Wachstum und die Leistungsparameter der Tiere hatte. Allerdings konnte eine Veränderung der Farbgebung von Haut und Filet festgestellt werden. Diese äußerte sich in einem erhöhten Gelbanteil sowie einer insgesamt dunkleren Pigmentierung des Filets. Die Farbveränderung lässt auf eine verstärkte Einlagerung von Carotinoiden durch die Aufnahme von WL schließen.

Eine intensivere Pigmentierung kann potenziell die Widerstandsfähigkeit der Fische gegenüber Umweltstressoren, beispielsweise UV-Strahlung, verbessern. Zudem könnten auch verhaltensbiologische Aspekte beeinflusst werden: Tilapien sind territorial lebende Fische, die ihre soziale Stellung unter anderem durch äußere Färbung signalisieren. Revierkämpfe sind ein typisches Verhalten territorialer Arten und führen nicht selten zu Verletzungen an Flossen und Körper.

In der vorliegenden Untersuchung wurde bei Tilapien, die Zugang zu Wasserlinsen hatten, eine geringere Häufigkeit von Flossenschäden an Brust- und Bauchflossen beobachtet. Dies könnte darauf hindeuten, dass es seltener oder weniger intensiv zu agonistischen Interaktionen kam. Mögliche Ursachen hierfür sind eine verbesserte Ausdrucksfähigkeit sozialer Signale durch intensivere Pigmentierung oder auch die veränderte Haltungsumgebung durch die WL. Als oberflächenbedeckende und schattenspendende Pflanzen könnten die WL Rückzugsräume geschaffen und damit das Konfliktpotenzial zwischen den Individuen reduziert haben.

Die hier dargestellten Ergebnisse liefern erste Hinweise auf die potenziellen verhaltensmodulierenden Effekte von Wasserlinsen in der Aquakultur. Eine weiterführende Untersuchung mit größerem Stichprobenumfang und systematischer Verhaltensbeobachtung ist notwendig, um diese Zusammenhänge differenzierter zu erfassen und zu validieren.