

Gemeinsamer Abschlussbericht

Mikroalgen als Futtermittelergänzung in der Schweinemast (AlgaPork)

Projektlaufzeit:

Beginn 01.12.2019
Ende 31.12.2022

Berichtszeitraum

Beginn 01.12.2019
Ende 31.12.2022

Koordinator des Vorhabens



Jan Gumpert (Vorstand)
Agraset Agrargenossenschaft e.G.
Am Lagerhaus 1, 09306 Erlau
info@agraset.de
+49 3737 4805 30/ +49 3737 4805 35

Weitere Mitglieder der operationellen Gruppe



GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH
Tiergartenstraße 48, 01219 Dresden
Vertreten durch Dr.-Ing. Hagen Hilse
(Geschäftsführer)



fodjan GmbH, Dresden
Großenhainer Straße 101, 01127 Dresden
Vertreten durch Carsten Gießler
(Geschäftsführer) und Michael Schütze
(Geschäftsführer)



Die Universität Rostock, Lehrstuhl für
Ernährungsphysiologie und Tierernährung
Justus-von-Liebig-Weg 6b, 18059 Rostock
Vertreten durch Prof. Dr. med. vertr. Petra
Wolf, später durch Prof. Dr. Nicole Wrage-
Mönnig



Gliederung

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	5
1 Zusammenfassung der Projektplanung	6
1.1 Problembeschreibung	6
1.2 Zielformulierung	7
1.3 Arbeitsplan	8
1.3.1 Methodenbeschreibung.....	8
1.3.2 Arbeits- und Lösungsweg	9
1.3.3 Arbeitsbeiträge der einzelnen Mitglieder der operationellen Gruppe.....	12
1.4 Erwartete Ergebnisse	12
2 Darstellung des Projektverlaufs.....	14
2.1 Chronologischer Projektablauf.....	14
2.2 Darstellung der Arbeitsbeiträge der einzelnen Mitglieder der operationellen Gruppe.....	16
2.2.1 Universität Rostock	16
2.2.2 GICON	18
2.2.3 Agraset.....	22
2.2.4 Fodjan	24
3 Projektergebnisse.....	28
3.1 Einschätzung der Zielerreichung	28
3.2 Hauptergebnisse des Projektes.....	29
3.2.1 Voruntersuchungen zur Verdaulichkeit der Mikroalgen.....	29
3.2.2 Umsetzung in der Praxis – Darstellung der Synergieeffekte	30
3.2.3 Nachweis des Effektes der Algenfütterung	35
3.2.4 Nachweis der Kostensenkung durch die vor-Ort-Produktion der Mikroalgen	47
3.3 Nebenergebnisse des Projektes.....	47
3.3.1 Vor-Ort-Kultivierung der Mikroalgen	47
3.3.2 Berücksichtigung der Tiergewichte bei der statistischen Analyse	47
3.3.3 Prüfung auf Wechselwirkungen	48
3.3.4 Prüfung der Art der Algensupplementation	48
3.3.5 Langzeiteffekt der Algensupplementation	48
3.3.6 Szenarien-Berechnungen zur Preiswürdigkeit der Algen sowie zur Ermittlung eines Grenzpreises der Algensupplementation	48
4 Ergebnisverwertung	56
4.1 Nutzung der Ergebnisse in der Praxis	56
4.2 Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse	57

5	Wirkung des Projektes	58
5.1	Beitrag zu den Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums.....	58
5.2	Beitrag zu den Zielen der EIP-AGRI.....	59
5.3	Beitrag zu den in der SWOT-Analyse festgestellten Bedarfen.....	60
6	Zusammenarbeit in der operationellen Gruppe.....	61
6.1	Ausgestaltung der Zusammenarbeit.....	61
6.2	Mehrwert der operationellen Gruppe	61
7	Verwendung der Zuwendung	63
8	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	64
8.1	Rückblick.....	64
8.2	Ausblick.....	65
	Literaturverzeichnis	67

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text das generische Maskulinum verwendet.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Tabellarischer Arbeitsplan des Projektes AlgaPork – angepasst! Ursprüngliche Version aus dem Projektantrag beinhaltete ein weites Mitglied in der OG sowie einen früheren Start der Förderung.....	11
Abbildung 2 Versuchsansätze zur Beurteilung der Gasbildung bei der Verdauung von Schweine-Futtermittel durch Zugabe von Algen: a) Futtermittel, b) Alge, c) 50 mg Alge + Futtermittel	17
Abbildung 3 GICON®-PBR mit 1.000 L Reaktorvolumen auf dem Betriebsgelände der Agraset Agrargenossenschaft eG.....	19
Abbildung 4 Analysemethoden während der Mikroalgenkultivierung im GICON®-PBR: Biotrockenmassebestimmung auf Glasfaserfiltern mittels Trocknungswaage (links) und Beurteilung des Kulturzustandes mittel Mikroskopie.....	22
Abbildung 5 Aufnahme der Schweine nach einer der ersten Algen-Zufütterungen bei den Vorversuchen. Durch die manuelle Zugabe der Algen auf das Futter wurden diese nicht nur gefressen sondern auch auf den Schnauzen der Tiere verteilt.	23
Abbildung 6 Grafische Darstellungen der Residuen der Schätzgleichung für das Merkmal tägliche Zunahme [g/Tag] als Test auf Normalverteilung (Gruppe=Kontrolle vs. Algensupplementation).....	25
Abbildung 7 Residuen-angepasster Ausreißertest des Merkmals tägliche Zunahme [g/Tag] der Schätzgleichung (Gruppe=Kontrolle vs. Algensupplementation)	26
Abbildung 8 Gasbildung nach 48 h Inkubation in mL pro Flasche in Abhängigkeit vom Substrat.....	29
Abbildung 9 pH-Wert in Abhängigkeit vom Substrat	30
Abbildung 10 Schema der Einbindungen der Mikroalgenproduktion am Hof.....	31
Abbildung 11 Planung (links) und Umsetzung (rechts) der Ernteleitung vom PBR zum Stall	32
Abbildung 12 Pumpen (unten rechts) und Zeitschaltung (unten links) zur täglichen Nachdosierung der Nährstoffe.....	32
Abbildung 13 Verlauf von pH-Wert und Sauerstoffkonzentration nach der Zugabe von heterotrophem Chlorella-Inokulum bei laufender Kultivierung.....	34
Abbildung 14 Gegenüberstellung des Verlaufs von Temperatur und Sauerstoffkonzentration an einem warmen (37 °C) sowie einem kühlen Tag (14 °C)	35
Abbildung 15 NH ₃ -Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021	43
Abbildung 16 CO ₂ -Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021	44
Abbildung 17 H ₂ S-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021	44
Abbildung 18 Temperatur und relative Feuchte-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021	44
Abbildung 19 NO ₂ -Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021	45
Abbildung 20 Methan-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021	45
Abbildung 21 TVOC-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021	45
Abbildung 22 Beleuchtungsstärke (lx) im Tagesverlauf (Mittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021).....	46
Abbildung 23 Lautstärke (dB) im Tagesverlauf (Mittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021).....	46
Abbildung 24 Verteilung des jährlichen Arbeitskraftbedarfs in Abhängigkeit der Bestandesgröße [h/Mastplatz und Jahr] (Brüggemann et al., 2019)	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Für das Projekt AlgaPork eingesetzte Arbeitskräfte bei der Agraset Agrargenossenschaft eG.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 2 Tabellarische, chronologische Zeit- und Arbeitsübersicht einschließlich Meilensteine	14
Tabelle 3 Zusammensetzung der Versuchsansätze zur Evaluierung der Methode	17
Tabelle 4 Zusammensetzung der Versuchsansätze zur Beurteilung der Gasbildung von Algen mittels Ankom-System.....	18
Tabelle 5 Nährstoffkonzentrationen zur Kultivierung von Chlorella sp.	20
Tabelle 6 Laboranalytische Ergebnisse ausgewählter Nährstoffe der eingesetzten Rationen (2022).....	37
Tabelle 7 Mittlere laboranalytische Ergebnisse ausgewählter Nährstoffe der eingesetzten Rationen.....	37
Tabelle 8 Mittlere tägliche Zunahme [g/Tag] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM) über die Versuchsdurchgänge	38
Tabelle 9 Ergebnisse der untersuchten festen Effekte auf die tägliche Zunahme [g/Tag] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM).....	38
Tabelle 10 Mittlere Futtermittelverwertung [kg Futter/kg Zuwachs] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM) über die Versuchsdurchgänge	39
Tabelle 11 Ergebnisse der untersuchten festen Effekte auf die mittlere Futtermittelverwertung [kg Futter/kg Zuwachs] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM).....	39
Tabelle 12 Therapieindex [dimensionslos] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM) über die Versuchsdurchgänge	40
Tabelle 13 Ergebnisse der untersuchten festen Effekte auf den Therapieindex der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM).....	40
Tabelle 14 Tierentnahmen [%] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM) über die Versuchsdurchgänge	41
Tabelle 15 Ergebnisse der untersuchten festen Effekte auf die Tierentnahmen [%] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM).....	42
Tabelle 16 Ergebnisse der Stickstoff-Effizienz [%] im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM)	42
Tabelle 17 Maximale Schadgaskonzentrationen geregelt in der TierSchNutzVO.....	43
Tabelle 18 Grenznutzen bei einer Veränderung der wichtigsten Einflussfaktoren (Quelle: LfL-Information zur Futterberechnung der Schweine, 27. Auflage, August 2022)	49
Tabelle 19 Szenarien-Rechnungen für die Algenwirkung anhand der im Versuch erlangten Ergebnisse sowie der Vollkostenrechnung für die Algensupplementation.....	52
Tabelle 20 Ermittlung des Grenzpreises für die Algensupplementation anhand der im Versuch erlangten Ergebnisse.....	54
Tabelle 21 Auflistung der Sachkosten aus dem Projekt AlgaPork.....	63
Tabelle 22 Angaben zur weiteren Nutzung von geförderten Gütern.....	63

1 Zusammenfassung der Projektplanung

1.1 Problembeschreibung

Im Zuge steigender Futtermittelpreise und einer immer stärker werdenden Abhängigkeit von Soja als Futtermittelpflanze rücken Mikroalgen verstärkt in den Fokus zur Bewältigung zukünftiger Herausforderungen auch im Bereich der Futter- und Nahrungsmittelindustrie. Einzellige Algen sind reich an wertvollen Inhaltsstoffen wie Proteinen, Kohlenhydraten, Carotinoiden, Omega-3-Fettsäuren und Vitaminen. Ihr Einsatz als Futterergänzungsmittel wurde bereits erfolgreich in der Praxis an verschiedenen Tierarten wie Schweinen und Hühnern getestet und ist entsprechend europäischer Richtlinien gestattet. Als Ergebnis zeigte sich, dass sich eine regelmäßige Gabe bereits geringer Mengen Mikroalgen (ca. 0,1 – 2% Anteil an der Gesamtfuttermenge je nach Tierart) positiv auf das Leistungsvermögen und den Gesundheitsstatus und damit auch auf das Tierwohl auswirkt. Durch die verbesserte Futtermittelnutzung folgt eine erhöhte Gewichtszunahme der Tiere bei gleichzeitig geringerer Futteraufnahme, was neben ökonomischen Aspekten auch den Vorteil bietet, dass weniger Tiere auf gleicher Fläche gehalten werden müssen, wodurch ein wesentlicher Beitrag zum Tierschutz geleistet werden kann.

Hervorzuheben ist, dass Mikroalgen in Bezug auf den Proteingehalt Sojapflanzen mindestens ebenbürtig sind und zudem über eine ebenso ausgewogene Aminosäurezusammensetzung verfügen, weswegen ein teilweiser Ersatz von Soja realisierbar ist. Durch die wesentlich höhere Flächenproduktivität ist dabei nur ein Bruchteil der Anbaufläche notwendig bei Unabhängigkeit von fruchtbarem Agrarland und Frischwasserzufuhr. Neben dem hohen Gehalt an gut verwertbarem Rohprotein zeichnen sich Mikroalgen vor allem durch weitere Inhaltsstoffe aus, die nachweislich die Tiergesundheit fördern, wie zum Beispiel immunostimulatorisch wirkende β -1,3-Glucane und Glykoproteine. Derartige Inhaltsstoffe prädestinieren Mikroalgen als potenziellen Futtermittelzusatzstoff mit Anwendungsmöglichkeiten zur Verbesserung des Tierwohls, des Leistungsvermögens sowie pro- und präbiotischen Wirkungen. Diese Effekte treten nachweislich auch ohne gesonderten vorherigen Aufschluss der Mikroalgenbiomasse auf, wie anhand einer Vielzahl von Studien in der Literatur gezeigt werden konnte.

Eine praktische Nutzung des wirtschaftlichen Potenzials dieser Effekte scheiterte bisher an den hohen Produktionskosten bei Verwendung geschlossener Photobioreaktorsysteme sowie dem bisher für die Mikroalgenkultivierung erforderlichen umfangreichen Betreuungsaufwand. Eine Vermarktung bzw. Nutzung der Mikroalgen ist derzeit daher nur in hochpreisigen Sektoren gegeben. Mit dem hier vorgeschlagenen Konzept sollen diese Probleme beseitigt und damit die Mikroalgenkultivierung und deren Nutzung im Futtermittelbereich als zusätzliches Betriebsfeld für die Landwirtschaft erschlossen werden. Der sich aus der Realisierung des Konzepts ergebende Anwendungsbereich umfasst den Einsatz der Mikroalgen als jetzt schon verkehrsfähiges Einzelfuttermittel sowie auch deren Nutzung als aktuell noch zulassungsbedürftiger Futtermittelzusatzstoff. Für den Einsatz der Mikroalgen als Futtermittelzusatzstoff ist nach erfolgreichem Nachweis zusatzstoffrelevanter Sekundäreffekte ein Zulassungsverfahren gemäß LL 429/2008 auf Basis der gewonnenen Daten anzustreben. Die Sicherheit der Tiere während der Versuchsreihe im Rahmen des Forschungsvorhabens ist durch die bestehende Zulassung der Mikroalgen als Einzelfuttermittel gemäß der Positivliste von August 2012 der Normenkommission für Einzelfuttermittel im Zentrallausschuss der Deutschen Landwirtschaft gewährleistet, dies soll zusätzlich durch fortwährende Kontrolle der Biomassezusammensetzung und Futtermittelhygiene abgesichert werden.

1.2 Zielformulierung

Der hier vorgestellte Lösungsansatz soll die Nutzung des Potenzials von Mikroalgen in der Tierfütterung zur Verbesserung der Nachhaltigkeit direkt am Hof demonstrieren, mit folgenden Teilzielen:

- Nachweis der deutlichen Senkung des Kostenanteils der Mikroalgenbiomasse durch Direkteinsatz der Frischmasse ohne ansonsten erforderlichen Aufbereitungs- und Zwischenlageraufwand, Verlagerung eines Teils der Wertschöpfungskette zum Landwirt,
- Darstellung der Synergieeffekte der Kopplung der Mikroalgenkultivierung in dem innovativen GICON-PBR mit Produktionsprozessen aus Lebensmittelindustrie und Landwirtschaft, hauptsächlich in den Bereichen Tierwohl, Energieversorgung, Prozesslogistik und Personalkosten
- Wissenschaftlich begleiteter Nachweis der Wirkungen der Zufütterung der Algenbiomasse auf die Qualität, Produktivität und das Tierwohl unter Praxisbedingungen,
- Entwicklung und Praxistest innovativer Methoden der Sensorik, Datenerfassung und Datenbewertung entlang der landwirtschaftlichen Produktionskette als Instrument der Qualitätssicherung.

Das vorgestellte Konzept besteht, ähnlich dem „Molkerei-Prinzip“, aus einer Kombination von dezentralen und zentralen Leistungsteilen:

1. Stammhaltung und Inokulum-Bereitstellung erfolgen in einer zentralen Produktionsstätte (Zentraleinheit) unter den biotechnologisch erforderlichen hohen Hygiene- und Verfahrensstandards, diese übernimmt auch die biologische Betreuung und eventuell erforderliche Servicearbeiten in den dezentralen Kultivierungsanlagen bundesweit bei kooperierenden Landwirten. Hierdurch wird neben einer Kostensenkung im landwirtschaftlichen Betrieb sichergestellt, dass die Produktion des mikroalgenbasierenden Futtermittels / Zusatzstoffs mit der erforderlichen Konstanz im Hinblick auf Produktzusammensetzung, Qualität und Verfügbarkeit erfolgt.
2. Die Algenkultivierung erfolgt als landwirtschaftlicher Prozess unter Nutzung von am Hof vorhandener Synergismen (Energie, Fläche, Wasser/Abwasser, Gebäude, Personal) in GICON- Photobioreaktoren in den landwirtschaftlichen Produktionsbetrieben, das erforderliche Inokulum wird aus der Zentraleinheit geliefert. Die Reaktoren werden für den Projektzeitraum als Mietanlagen zur Verfügung gestellt, erforderliche Wartungsarbeiten erfolgen durch Service-Personal von GICON.
3. Für die Kultursuspension wird ausschließlich Wasser in Trinkwasserqualität genutzt. Die erzeugte Algenbiomasse wird als Suspension am Hof direkt bzw. als zusätzliche Einnahmequelle auch in benachbarten Betrieben zeitnah verfüttert, so dass eine entsprechende Futtermittelhygiene gewährleistet ist. Bei entsprechender Anlagengröße kann erzeugte Überschussproduktion tiefgekühlt zwischengelagert, von der Zentraleinheit übernommen, aufgearbeitet und weitervermarktet werden. Die zum Einsatz vorgesehenen Mikroalgen aus dem Chlorella-Cluster werden international als „GRAS“ („generally recognized as safe“) eingestuft und enthalten nach dem Stand des Wissens keine toxischen oder die Tiergesundheit schädigenden Inhaltsstoffe. Dieses Konzept entkoppelt die einzelnen Prozessschritte und bewirkt damit eine drastische

Reduktion der Kosten für die eigentliche Mikroalgenproduktion. Für diese fallen am Hof im Wesentlichen zusätzlich nur die Betriebskosten (Energie, Wasser/Trinkwasser, Nährstoffe, Reaktor-Miete bzw. Finanzierung) an. Durch die Verfütterung der Suspension vor Ort anstelle getrockneter Mikroalgen entfallen Aufarbeitungskosten für die Biomasse, die die Hauptposition bei den Erntekosten ausmacht. Die Produktionseinheit kann optimal in vorhandene Prozesse auf dem Hof eingebunden werden (Abwärmenutzung, Abwasserentsorgung, Abluftreinigung etc.). Durch die Mikroalgen-Supplementation werden am Hof Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit der Tierhaltung verbessert.

4. Die Algensuspension wird an die Mastschweine mit Anteilen unter 3% der TS-Aufnahme verfüttert. Diese Menge stellt zusätzlich sicher, dass in den Mikroalgen vorhandene Sekundärmetabolite, (Carotinoide, Nucleinsäuren, Diamine, die aber auch in jeder Pflanze vorkommen) nicht in potentiell schädlichen Dosen aufgenommen werden können. Erste Versuche lassen probiotische Effekte vermuten. Auch diese werden quantifiziert und neu bewertet.

1.3 Arbeitsplan

1.3.1 Methodenbeschreibung

Zur Algenkultivierung am Hof wird ein entsprechend der erforderlichen Supplement-Menge angepasster GICON-Photobioreaktor ("PBR") errichtet und in Betrieb genommen. Die regelmäßige Versorgung mit Inokulum erfolgt aus einem extern betriebenen Reaktor-System (nicht Antragsgegenstand).

Der Einsatz von Mikroalgen als Futtermittel oder als Supplement findet in der Aquakultur schon breite Anwendung. Im Nutztiersektor ist der Einsatz bisher nicht über den Versuchsbereich hinausgekommen.

Aus vorangegangenen eigenen Untersuchungen an Mastenten, Putenelertieren und Legehennen konnte abgeleitet werden, dass eine Mikroalgensupplementation, jeweils mit Mikroalgen aus dem Chlorella-Cluster, das Potential besitzt, das Leistungsverhalten in einigen Tierarten positiv zu beeinflussen. Effekte wurden hier schon bei Einsatz von Supplementkonzentrationen kleiner 1% in Bezug zur Gesamtfuttermenge beobachtet.

Entsprechend dieser Prämisse, den baulichen Voraussetzungen am Landwirtschaftsbetrieb sowie unter Berücksichtigung der im vorgesehenen Versuchsablauf sinnvoll realisierbaren Kultivierungstechnik wurde sich für folgende Randparameter entschieden:

- der Fütterungsversuch erfolgt jeweils an einer Kohorte von 300 Tieren in der Vormast im gleichen Stall mit der Kontrollgruppe unter den am Standort etablierten Produktionsbedingungen
- das Supplement wird als Suspension mit Hilfe eines Dosiersystems dem Futter zugemischt und dazu vom Reaktor in den Stall gepumpt
- dosiert werden im Mittel 2,7 g / Tier und Tag, bezogen auf die Kultursuspension entspricht dieses einer Menge von ca. 200 l Mikroalgensuspension mit 4g/l BTM Gehalt, die täglich dem Reaktorsystem entnommen wird.

Zur kontinuierlichen Bereitstellung dieser Menge nach dem GICON-Verfahren ist ein PBR – Volumen von ca. 800 l (1 Algenturm + 1 Zirkulationstank) ausreichend. Zum Anfahren der

Anlage sowie zum Auffrischen der Kultur wird regelmäßig Algen-Konzentrat ($C_{\text{BTM}} = 100\text{g/l}$) aus der Zentraleinheit benötigt, das im PBR System nachbehandelt und veredelt wird.

Dem semikontinuierlich betriebenen Photobioreaktor wird täglich die zur Supplementation der Tierkohorte erforderliche Suspensionsmenge entnommen und über das Nassfutter verfüttert. Die Algengruppen werden mit weiteren Tiergruppen zu je 300 Tieren verglichen.

Dabei ist geplant, folgende Merkmale zu untersuchen:

- Zunahme, Aktivität, Futteraufnahme, Wasseraufnahme, Aggressivität, Erkrankungen, Antibiotikaeinsatz, Fleischqualität am Haken.

In einer den Praxiseinsatz vorbereitenden ersten Projektphase und ggf. auch noch parallel zum Praxiseinsatz werden mit entsprechenden in vitro – Tests Versuche zur Charakterisierung Futtermittelzusatzstoff-relevanter Eigenschaften des Mikroalgen-Supplements durchgeführt.

Um die aufgelisteten Merkmale zu untersuchen, werden verschiedene Rohdaten über eine entsprechende Sensorik aufgenommen. Die für den Versuch zu entwickelnde Software vernetzt, speichert und analysiert die Daten.

1.3.2 Arbeits- und Lösungsweg

Etablierung der operationellen Gruppe (03/2019 - 04/2019)

- Zusammenstellung des Arbeitsplans (siehe Abbildung 1)
- Schaffung der strukturellen und personellen Voraussetzungen (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)
- Erlangen der Arbeitsfähigkeit

Schaffung der personellen und logistischen Voraussetzungen für die Versuchsdurchführung (03/2019-03/2020)

- GICON: Planung der personellen und materiellen Struktur zur externen Betreuung des Algenreaktors (Anlieferung Inokulum, Adaption und Wartung des Algenreaktors)
- fodjan: Aufbau und Etablierung der personellen und materiellen Struktur zur externen Projektbetreuung (Erstellung, Wartung und Adaption der Software und Dateninfrastruktur, Systemüberwachung, Probennahme, Dokumentation)
- AGRASET: Aufbau und Etablierung der personellen und materiellen Struktur zur täglichen Betreuung der Algenanlage und der Versuchskohorten (Nährstoffversorgung Algenanlage, Algenernte, Futtermittelbereitung, phänomenologische Bewertung und Dokumentation des Tierverhaltens)
- Universität Leipzig: Aufbau und Etablierung der personellen und materiellen Struktur zur Absicherung der veterinärmedizinischen Betreuung und Bewertung und Kontrolle der Versuchsdurchführung

Die Universität Leipzig ist vor Beginn der aktiven Projektbearbeitung aus der operativen Gruppe ausgeschieden, die vorgesehenen Aktivitäten wurden durch die anderen Mitglieder partiell übernommen bzw. entfielen.

- Universität Rostock: Aufbau und Etablierung der personellen und materiellen Struktur zur Absicherung der In-Vitro-Versuche und der versuchsbegleitenden Qualitätskontrolle der Algenbiomasse

Schaffung der organisatorischen und technischen Voraussetzungen für die Projektdurchführung (05/2019 - 03/2020)

- Planung des Mikroalgen-Kultivierungssystems (GICON-Photobioreaktoranlage am Hof, Schnittstellen zur externen Anlage zur Inokulumproduktion; letztere ist nicht Gegenstand des beantragten Projektes)
- Planung der erforderlichen Um- und Einbauten am Stall zur Fütterung und Datenerfassung (Kamerasystem im Stall zur automatischen Bilderkennung, Erweiterung der Futtertechnik, Tierwaagen)

Voruntersuchungen zu qualitativen und nutritiven Eigenschaften der Mikroalgen (04/2019-03/2020)

- Tierernährer (Uni Rostock): Durchführung orientierender In-vitro-Versuche zur Quantifizierung potenzieller Futtermittelzusatzstoff-relevanter Eigenschaften (Verdaulichkeit, Bioverfügbarkeit pro-/präbiotische Effekte etc.); Inhaltsstoffanalytik der Mikroalgenbiomasse (unerwünschte Inhaltsstoffe, Konstanz der Zusammensetzung, Wertstoffe etc.); Bestimmung des mikrobiellen Status
- Agraset: Durchführung von Akzeptanz-Tests zur Sicherstellung der bereitwilligen Aufnahme der Mikroalgenbiomasse durch die Schweine

Bestätigung des „Proof of Concept“ des zugrundeliegenden Lösungsansatzes (Meilenstein) (03/2020)

- Entscheidung über Abbruch oder Fortführung des Projektes auf Grundlage der gewonnenen Ergebnisse aus der vorbereitenden ersten Projektphase

Umsetzung des Konzeptes unter Praxisbedingungen (04/2020 – 05/2020)

- GICON: Errichtung des GICON-Mikroalgen-Kultivierungssystems am Hof; Anfahren des GICON-Mikroalgen-Kultivierungssystems am Hof; Adaption des Kultivierungsverfahrens an die spezifischen Bedingungen am Hof; Funktionstest, Korrekturmaßnahmen und reguläre Inbetriebnahme der Systeme
- Fodjan: Realisierung der Um - und Einbaumaßnahmen des Monitoring- und Dosiersystems im Stall

Durchführung der Fütterungsversuche in vivo (05/2020-02/2022)

- Agraset: Routinebetrieb des Algenreaktors, tägliche frisch Bereitstellung der erforderlichen Mikroalgen; tägliche Beimischung der Algen in das Futtermittel
- Uni Rostock: Regelmäßige Überwachung der Futtermittelhygiene (mikrobiologischer Status, Schwermetalle, Toxine etc.)
- Fodjan: Datenakquise, -analyse und -interpretation; Rationsoptimierung
- Uni Leipzig: Monitoring des Verhaltens der Tierpopulation
- GICON: Wartung des Reaktors am Hof; Lieferung des Inokulums
- Wiederholung in mehreren Zyklen

1.3.3 Arbeitsbeiträge der einzelnen Mitglieder der operationellen Gruppe

Agraset:

- Verwaltung des Projektbudgets und Abrechnung der Ausgaben beim Fördermittelgeber
- Aufsicht über Durchführung des Projektes vor Ort
- Umsetzung und personelle Betreuung der Fütterungsversuche sowie Test und Anwendung der Monitoring-Technik unter Praxisbedingungen
- Betrieb und Ernte des Photobioreaktors am Hof, Beimischung der Mikroalgenbiomasse zum Tierfutter

GICON:

- Übergeordnetes Projektmanagement und Projektcontrolling
- Unterstützung für Agraset bei der Abrechnung der Ausgaben
- Entwicklung, Planung und Realisierung einer Mikroalgenproduktionseinheit einschließlich des Kultivierungsverfahrens am Hof
- Technische und biologische Betreuung sowie Wartung der Algen-Anlage; Inokulum-Bereitstellung
- Veröffentlichung und Verbreitung der Projektergebnisse

Fodjan:

- Projektmanagement IT
- Erstellung und Wartung der nötigen Software und Dateninfrastruktur zur Eingabe, Import, Speicherung und Analyse der Daten während der Fütterungsversuche
- Betreuung des Projekts vor Ort, Probennahme, manuelle Dokumentation und Datenerfassung, Überwachung des Systems

Universität Rostock:

- Entwicklung, Durchführung und Auswertung geeigneter In-Vitro-Versuche zur Darstellung nachweisbaren physiologischen Effektes der Mikroalgen auf zellulärer Ebene und zum Ausschluss cytotoxischer Wirkungen
- Unterstützung bei der wissenschaftlichen Versuchsplanung der Fütterungsversuche

1.4 Erwartete Ergebnisse

- Entwicklung und Evaluierung eines Verfahrens zur kostengünstigen Produktion von Mikroalgen-basierten Futtermittelergänzungen unter synergistischer Nutzung von am Hof anliegenden Potenzialen
- Daraus resultierend die Erschließung eines neuen Geschäftsfeldes und damit Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit für landwirtschaftliche Betriebe
- Auf Basis von Vorversuchen kann angenommen werden, dass sich durch Beimischung von 0,2% Mikroalgenbiomasse zum Normalfutter ein zusätzlicher Gewinn pro Schwein erreichen lässt; dies beruht auf folgenden Beobachtungen und Annahmen:

- Höhere Gewichtszunahme der Tiere bei gleicher Futtermenge nachgewiesen, daher erreichen sie schneller das Mastendgewicht (höherer Durchlauf für erhöhte Produktionskapazität oder mehr Platz pro Tier für erhöhtes Tierwohl)
- erhöhte Tiergesundheit führte zu weniger Verlusten von Tieren während der Mastperiode; daraus ergibt sich außerdem Potenzial zur Einsparung von Antibiotika und Tierarztkosten
- durch erhöhte Verbraucherakzeptanz aufgrund eines höheren Anteils an antibiotikafreiem Fleisch sowie aufgrund des angestrebten erhöhten Tierwohls ergibt sich ein potenziell höherer Verkaufspreis des Fleisches
- Erschließung der Mikroalgen-Biotechnologie für die Landwirtschaft als neues Geschäftsfeld für Verfahrensanbieter
- Nachweis der positiven Wirkung mikroalgenbasierter Futtermittelergänzungen und Futtermittelzusatzstoffe auf das Tierwohl sowie auf Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit der am Hof betriebenen Tierhaltung
- Methodenentwicklung zur Quantifizierung der Effekte über Erfassung diverser Leistungsparameter, Stickstoffeffizienz, Futtermittelverwertung und Wasseraufnahme sowie Aktivität, Aggressivität und Erkrankungen
- Etablierung dieser Erfassungsmethoden als Routinewerkzeug und Geschäftsfeld für Dienstleister
- Datengrundlage für das Erwirken eines Zulassungsverfahrens für Mikroalgensupplemente als Futtermittelzusatzstoff (potenzielle Kategorien „Verbesserung des Tierwohls“ sowie „pro- bzw. präbiotische Wirkung“)
- Verbesserung des Images der Landwirtschaft durch öffentlichkeitswirksame Verbreitung der sich positiv auf das Tierwohl und Umweltbilanz auswirkenden Effekte

2 Darstellung des Projektverlaufs

2.1 Chronologischer Projektablauf

Tabelle 1 Tabellarische, chronologische Zeit- und Arbeitsübersicht einschließlich Meilensteine

<i>Zeitpunkt</i>	<i>Arbeitsschritt</i>	<i>Beteiligte</i>
<i>Dezember 2019 bis April 2020</i>	Versuchsvorbereitende Maßnahmen, Schaffung der notwendigen Personalstruktur	Agraset
<i>Ab Dezember 2019</i>	Planung Technik Datenerfassung	fodjan
	Vorbereitung Inokulumproduktion	GICON
<i>Ab Januar 2020</i>	Aufbau und Etablierung der personellen und materiellen Struktur zur externen Projektbetreuung (Erstellung, Wartung und Adaption der Software und Dateninfrastruktur Systemüberwachung, Probennahme, Dokumentation)	fodjan
<i>Ab April 2020</i>	Software-Programmierung	fodjan
	Planung Reaktorsystem	GICON
<i>Ab März 2020</i>	Vorbereitung Versuchsplanung, Personalakquise	Uni Rostock
<i>September 2020</i>	Aufbau der Infrastruktur zur Datenerhebung, Betriebsbereit als Prototyp	fodjan
<i>Ab Oktober 2020</i>	Planung der Akzeptanzversuche, Anlagenplanung zur Untermischung des Mikroalgensuspension im Futter	Agraset GICON
	Antrag auf Verschiebung des Meilensteinberichts (Corona/Verzögerung Uni Rostock)	
<i>Oktober/November 2020</i>	Etablierung des in vitro-Verfahrens und Justierung auf die Algensuspension → erfolgreich, Ergebnisse lassen sich reproduzieren	Uni Rostock
<i>November 2020 bis Februar 2021</i>	Einfahren des in vitro-Systems, Reproduzierbare Ergebnisse bei Einsatz von Futtermitteln und Algensuspension im in vitro-Verfahren	Uni Rostock
<i>Februar 2021 bis Februar 2022</i>	Planung der erforderlichen Um- und Einbauten am Stall zur Fütterung und Datenerfassung (Kamerasystem im Stall zur automatischen Bilderkennung, Erweiterung der Futtertechnik, Tierwaagen)	fodjan
<i>März 2021</i>	Vorversuche/Akzeptanztest Fütterung mit Mikroalgen (TK) zur Sicherstellung der bereitwilligen Aufnahme der Mikrobiomasse durch die Schweine	Agraset
Meilenstein 1 erreicht: Nachweis eines positiven Effektes der Mikroalgenbiomasse in den in-vitro-Versuchen sowie der Akzeptanz der Mikroalgen im Futtermittel durch die Tiere		
<i>März – Juli 2021</i>	Konstruktion und Aufbau Photobioreaktor,	Agraset, GICON

	betriebsbereit in KW 29	
<i>April – Juli 2021</i>	Durchführung von in vitro -Versuchen, Etabliertes Verfahren wurde mit algenspezifischen Kotproben durchgeführt, Ergebnisse lassen sich reproduzieren	Uni Rostock
	Aufbau der Infrastruktur zur Gasanalyse im Stall, betriebsbereit	fodjan
<i>April 2021 bis März 2022</i>	in vitro Versuche, Etabliertes Verfahren wurde mit algenspezifischen Kotproben durchgeführt, Ergebnisse lassen sich reproduzieren	Uni Rostock
<i>Juni – Juli 2021</i>	Vorbereitung und Beginn Gasanalysen, Reproduzierbare Ergebnisse, Werte deuten auf positive Beeinflussung der Darmflora	Uni Rostock
<i>Juni 2021 bis März 2022</i>	Gasanalysen, Wiederholung der Versuche, Reproduzierbare Ergebnisse	Uni Rostock
<i>August 2021 bis September 2021</i>	Anpassung des Kultivierungsverfahrens im PBR, Fütterung Mikroalgen aus TK-Suspension, positive Effekte werden beobachtet	Agraset, GICON
<i>August 2021 bis September 2021</i>	Gasanalysen im Stall, Sensoren im Einsatz	fodjan
<i>Ab November 2021</i>	Entwicklung und Praxistest innovativer Methoden der Sensorik, Datenerfassung und Datenbewertung entlang der landwirtschaftlichen Produktionskette als Instrument der Qualitätssicherung	fodjan
<i>November 2021 bis April 2022</i>	Drei Versuche mit tiefgekühlter Mikroalgenbiomasse als Futterzusatz	Agraset, GICON
<i>Ab Dezember 2021</i>	Datenakquise, -analyse und -interpretation; Rationsoptimierung	fodjan
<i>Meilenstein 2 erreicht: Nachweis eines positiven physiologischen Effektes der Mikroalgenbiomasse in vitro und in der Praxis</i>		
<i>April 2022</i>	Planung und Installation Ernteleitung (Stall-Photobioreaktor), Planung und Installation Kühlkreislauf	Agraset, GICON
	Planung der personellen und materiellen Struktur zur externen Betreuung des Algenreaktors (Anlieferung Inokulum, Adaption und Wartung des Reaktors)	GICON
	Erarbeitung eines Konzeptes geeigneter Bewertungskriterien für die Optimierung; Prüfung der Rationsoptimierung innerhalb der Projektphase; Einbindung der Projektergebnisse in die Erstellung eines Schweinemast-Management-/Optimierungstools (Prototyp)	fodjan
<i>Mai 2022</i>	Errichtung und Qualifizierung der	Agraset

	Dosierungseinrichtung	
	Start Supplementkultivierung im PBR, parallele Auswertung der Kultivierungsdaten	GICON
Mai bis September 2022	Routinebetrieb des Algenreaktors, tgl. frische Bereitstellung der erforderlichen Mikroalgen, tgl. Beimischung der Algen in das Futtermittel	Betrieb und Wartung durch GICON, Agraset stellt Entnahme der Suspension im Stall sicher
Juni bis September 2022	Drei Fütterungsreihen mit vor Ort produzierter Mikroalgenbiomasse als Futterzusatz	Agraset, GICON
September bis November 2022	Auswertung der Leistungsparameter, Auswertung Stickstoffeffizienzen	fodjan
Oktober 2022	Beurteilung Wirtschaftlichkeit von Algen als Zusatzstoff: a. Nachweis der deutlichen Senkung der Algenbiomasse durch Direkteinsatz der Frischmasse ohne Aufbereitungs- und Zwischenlageraufwand b. Nachweis über Nachhaltigkeit am Hof	GICON
Oktober bis Dezember 2022	Wissenschaftlich begleiteter Nachweis der Wirkung der Zufütterung der Algenbiomasse auf die Qualität, Produktivität und das Tierwohl unter Praxisbedingungen	fodjan
Oktober bis Dezember 2022	Auswertung der Leistungsdaten sowie der Sensordaten	fodjan, GICON

2.2 Darstellung der Arbeitsbeiträge der einzelnen Mitglieder der operationellen Gruppe

2.2.1 Universität Rostock

Entwicklung, Durchführung und Auswertung eines geeigneten Invitro-Versuchs zur Darstellung eines nachweisbaren physiologischen Effektes der Mikroalgen

Zur Beurteilung der Effekte von Mikroalgen auf die Verdauung der Schweine kam das Ankom RF Gas Production System (Ankom Technology Corporation Fairport, NY, USA) zum Einsatz. Dieses System simuliert das Fermentationsverhalten im Dickdarm, hat sich allgemein zur Beurteilung der Verdaulichkeit von Futtermitteln bewährt und wird in Bezug zu Schweinen angewandt (Tassone et al., 2020; Youssef and Kamphues, 2017). Das Verfahren beruht auf dem linearen Zusammenhang zwischen Gasbildung und Abbau des Rohfaseranteils. In dem geschlossenen, thermostatgeregelten System wird eine Futtermittelprobe zusammen mit frischen Fäkalien von Schweinen sowie einer Pufferlösung inkubiert. Das gebildete Gas wird *in-line* über Druckmessung quantifiziert. Aus Veränderungen in Gasvolumen und -zusammensetzung in Abhängigkeit vom Futtermittel können Rückschlüsse auf ernährungsphysiologische Eigenschaften des Futtermittels gezogen werden.

Die Evaluierung der Eignung dieser Methode zum Nachweis einer Supplementwirkung durch Algen erfolgte in fünf Vorversuchen. In diesen wurden 5 Referenzproben unter identischen Bedingungen (Temperatur, Druck etc.) mit Hefe als Inokulum und gepuffert fermentiert: Futtermittel (Referenzprobe 1), Alge (Referenzprobe 2) und Futtermittel + 3 verschiedenen Algenmengen. Die genauen Zusammensetzungen sind in Tabelle 2 dargestellt ist. Die Bestandteile wurden in 100-mL-Ankomflaschen eingewogen (Abbildung 2) und anschließend für 48 h im Ankom-System bei 39 °C inkubiert.

Tabelle 2 Zusammensetzung der Versuchsansätze zur Evaluierung der Methode

Versuch	Einwaage [g]			[mL]
	FM (gemahlen)	Alge (flüssig)	Hefe	Puffer
Futtermittel (FM)	0,5	-	0,3	35
Alge		0,5	0,3	35
Alge 20 + FM	0,5	0,02	0,3	35
Alge 30 + FM	0,5	0,03	0,3	35
Alge 50 + FM	0,5	0,05	0,3	35

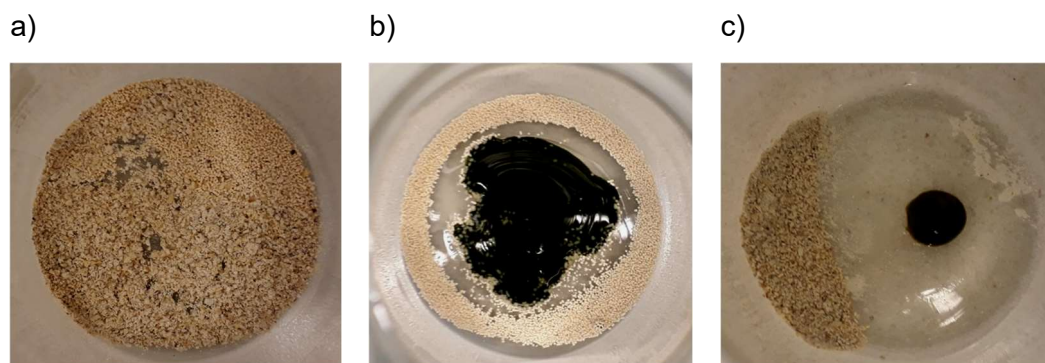


Abbildung 2 Versuchsansätze zur Beurteilung der Gasbildung bei der Verdauung von Schweine-Futtermittel durch Zugabe von Algen: a) Futtermittel, b) Alge, c) 50 mg Alge + Futtermittel

Neben dem Gasvolumen wurde nach der Inkubationszeit von 48 h der pH-Wert und die Temperatur der Suspension gemessen.

Schon mit Hefe als Inokulum zeigte sich, dass sich die Anwesenheit von Mikroalgen auf das Fermentationsverhalten auswirkt. In Gegenwart der Algenproben konnte eine Veränderung des bei der Fermentation anfallenden Gasvolumens beobachtet werden. Der pH-Wert verringerte sich, die Gasproduktion nahm ab, die Zusammensetzung wurde zu Gunsten von Propionat und Butyrat verschoben. Die Methode ist somit geeignet, um algeninduzierte Veränderungen zu detektieren.

Zur Übertragung der Methode auf das Schwein erhielten 7 Mastschweine im institutseigenen Versuchsstall die von AGRASET genutzte Futtermischung. Nach einer Adaptionsphase von 7 Tagen wurden frisch abgesetzte Kotproben gesammelt und in Thermobehältern bis zum in vitro-Einsatz zwischengelagert. Auch mit dem Inkubationsmedium Schweinekotsuspension (SKS) kam es bei Zugabe der Algensuspension zum Futtermittel zu einer Erniedrigung des pH-Wertes und einer Verringerung des entstehenden Gasvolumens im Vergleich zur ausschließlichen Gabe des Futtermittels bzw. zur ausschließlichen Algengabe.

Die Gasproduktion stieg mit zunehmender Menge an Algensuspension wieder an, erreichte jedoch nicht mehr die Menge, die sich bei ausschließlicher Einsatz des Futtermittels ergab. Bei der Analyse der in der Gasphase enthaltenen flüchtigen Fettsäuren zeigte sich mit Zugabe der Algensuspension wieder ein signifikanter Anstieg des Propionsäuregehaltes, gefolgt von Butyrat.

Die Zusammensetzung der Ansätze änderte sich wie in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Zusammensetzung der Versuchsansätze zur Beurteilung der Gasbildung von Algen mittels Ankom-System

Versuch	Einwaage [g]		[mL]
	FM (gemahlen)	Alge (flüssig)	SKS
Futtermittel (FM)	1	-	35
Alge		0,5	35
Alge 40 + FM	1	0,04	35
Alge 60 + FM	1	0,06	35
Alge 100 + FM	1	0,1	35

Die Inkubation im Ankom-System wurde analog zum vorherigen Versuch durchgeführt. Es wurde ebenfalls das nach 48 h gebildete Gasvolumen, der pH-Wert und die Suspensionstemperatur gemessen.

2.2.2 GICON

Photobioreaktor

Zur Kultivierung der Mikroalgen am Hof wurde ein GICON-Photobioreaktor herangezogen und an die Rahmenbedingungen auf dem Agraset-Betriebsgelände und die Anforderungen, die sich zur Projektdurchführung ergeben, angepasst.

Der GICON®-PBR besitzt ein Reaktorvolumen von 1.000 L. Er setzte sich aus zwei Lichtkollektoren und einem Mischtank zusammen (Abbildung 3). Die Lichtkollektoren bestehen aus dem innovativen Doppelschlauch, der sich durch das Material, einem Spezialsilikon, und dem zwei-Kammer-System zur Kühlung auszeichnet. Der Schlauch ist auf einem konischen Metallgerüst montiert, was eine optimale Lichtverfügbarkeit ermöglichte.

Mischtank und Kollektoren waren über Rohrleitungen verbunden, welche mit der notwendigen MSR-Technik (Temperatur, pH-Wert, Druck) und den Gasanschlüssen (Luft, CO₂) versehen waren. Im Mischtank wurden zudem über weitere Elektroden der Sauerstoffgehalt und die Trübung der Algensuspension gemessen.



Abbildung 3 GICON®-PBR mit 1.000 L Reaktorvolumen auf dem Betriebsgelände der Agraset Agrargenossenschaft eG

Für die Umsetzung des Projekts war eine Kopplung des Kultivierungsprozesses mit bereits vorhandenen Arbeitsprozessen oder Stoffströmen zur Erzeugung von Synergismen geplant. Diese Einbindung wird im Ergebnisteil beschrieben.

Kultivierungsverfahren

Zur Futtermittelergänzung für die Vormast wurden Mikroalgen aus dem *Chlorella*-Cluster gewählt, da diese den GRAS-Status besitzen (generally regarded as safe). Um eine stabile Kultivierung unter den Bedingungen eines Landwirtschaftsbetriebs zu ermöglichen, wurde nach dem Prinzip der synthetischen Ökologie keine Reinkultur verwendet. Es wurden drei *Chlorella*-Spezies als Mischkultur etabliert, um die Störanfälligkeit unter den rauen Bedingungen am Hof zu minimieren.

Die potentielle Störanfälligkeit ergibt sich hauptsächlich aus den folgenden Faktoren:

- Unsteriles Arbeiten, Staub-/Pollenbelastung
- Nutzung von gechlortem Brunnenwasser
- Unmittelbare Nähe zu Biogasanlage
- Suboptimaler Nährstoffgehalt in der Kultursuspension (Sicherheitsfunktion, Beachtung Nitratintrag in Schwein)

Die Nutzung von Mikroalgen mit unterschiedlichen Optima in Hinsicht auf ihre Umgebungs- und damit Kultivierungsbedingungen sowie mit unterschiedlicher Zellgröße macht einen Totalausfall der Anlage unwahrscheinlicher. Zusätzlich entwickelt ein Mikroalgenkonsortium Synergismen untereinander, welche die Kultur resistenter machen (Das et al., 2021; Padmaperuma et al., 2018).

Die Inokula wurden extern hergestellt.

Medienzusammensetzung

Zur Kultivierung wurde eine Modifikation des GICON-Industriemediums für kontinuierliche Kultivierungen gemäß Tabelle 4 verwendet. Die als Makronährstoffe fungierenden Mineralsalze (KNO_3 ; KH_2PO_4 und MgSO_4) wurden in Lebensmittelqualität eingesetzt. Die

Nitratkonzentration wurde gezielt geringer gewählt, um bei Fehlbetrieb oder schlechter Nährstoffzehrung keine Überdosierung im Schweinefutter zu verursachen. Zusätzlich wurde die Magnesiumsulfat-Konzentration herabgesetzt. Diese Verbindung ist auch als Bittersalz bekannt und kann aufgrund ihres bitteren Geschmacks dazu führen, dass das Algensuspension-enthaltende Futter von den Schweinen weniger akzeptiert wird. Alle Makronährstoffe wurden manuell hochkonzentriert in Wasser gelöst und aus den Vorlagebehältnissen über Dosierpumpen automatisch in den Reaktor gegeben. Die Dosierung der Nährstoffe erfolgte jeweils über 30 min und lief zeitversetzt nach der Suspensionsentnahme ab.

Erforderliche Mikronährstoffe wurden als Stocklösung vorgemischt und zusammen mit der KNO_3 -Lösung dosiert.

Tabelle 4 Nährstoffkonzentrationen zur Kultivierung von Chlorella sp.

<i>Nährstoff</i>	<i>Endkonzentration im Reaktor</i>
Makronährstoffe	
KNO_3	0,25 g/L
KH_2PO_4	0,03 g/L
$\text{MgSO}_4 \times 7 \text{ H}_2\text{O}$	0,01 g/L
Mikronährstoffe	
Ammoniumeisencitrat	0,19 mg/L
$\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{ H}_2\text{O}$	0,19 mg/L
H_3BO_4	0,04 mg/L
$\text{CoSO}_4 \times 7 \text{ H}_2\text{O}$	0,09 mg/L
$\text{CuSO}_4 \times 5 \text{ H}_2\text{O}$	0,31 mg/L
$\text{MnSO}_4 \times 4 \text{ H}_2\text{O}$	0,15 mg/L
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7 \times 4 \text{ H}_2\text{O}$	0,007 mg/L

Mixotrophie

Um hohe *Chlorella*-Konzentrationen zu erhalten, war als ursprüngliche Kultivierungsstrategie eine mixotrophe Kultivierung vorgesehen. D.h. es sollte neben dem Stoffwechselweg der Photosynthese ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + \text{Glucose}$) auch der heterotrophe, lichtunabhängige Stoffwechselweg ($\text{Glucose} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) der Algen genutzt werden. Der maßgebliche Vorteil der Kombination beider Stoffwechselwege ist, dass auch im Dunklen, z.B. nachts oder im Mischtank, ein Wachstum der Algenbiomasse stattfinden kann.

In Vorversuchen vor Ort wurde jedoch festgestellt, dass ein mixotropher Kultivierungsansatz mit Glucose unter den Rahmenbedingungen des Projektes (eingeschränkt kontrollierbare Prozesshygiene, Nutzung von Brunnenwasser, hohe Staub/Pollenbelastung, Nähe zu Biogasanlage) zu einer höheren Kontaminationswahrscheinlichkeit und damit zu einem höheren Betreuungsaufwand führt. Auf Mixotrophie wurde dementsprechend verzichtet und mit einer geringeren Mikroalgenkonzentration als geplant gearbeitet. Generell ist die mixotrophe Verfahrensweise aber für die angestrebte Nutzung geeignet, erfordert aber weitere Modifikationen am Reaktorsystem, die im zeitlichen Rahmen des Projektablaufs nicht eingeplant und auch nicht realisierbar waren.

Kultivierungsbedingungen

Mit Hilfe der verbauten Sensoren erfolgte die kontinuierliche *in-situ*-Messung von pH-Wert, Temperatur, Trübung, Sauerstoffkonzentration in der Suspension, genauso wie Anlagendruck und Durchflussgeschwindigkeit. Die Ausgabe der Messwerte erfolgte über

eine Steuerungseinheit. Über diese Steuerungseinheit wurden auch die Arbeitsbereiche für die Kultivierung festgelegt und teilweise geregelt.

Als prozessrelevante Regelgrößen wurden der pH-Wert sowie die Prozesstemperatur genutzt.

Die Temperaturregelung erfolgte in dieser Anwendung ausschließlich als Überhitzungsschutz. Das dafür erforderliche Kühlwasser wurde über einen in den Brauchwassertank des Stalls integrierten Wärmetauscher erhalten.

Das Einschalten der Kühlung erfolgte bei Überschreiten einer Suspensionstemperatur von 26 °C, das Abschalten bei Unterschreiten von 24 °C.

Über den pH-Wert wird die CO₂-/ Hydrogencarbonat-Konzentration in der Kultursuspension eingestellt, die Regelung erfolgt über die Einleitung von CO₂. Der Arbeitsbereich ist frei wählbar, für die genutzt Mischkultur wurde ein Arbeitsbereich zwischen 7.2 und 7.8 eingestellt. Die Zugabe startete bei Überschreitung des Grenzwertes von 7.8 und wurde nach Unterschreiten des pH-Wertes 7.2 beendet.

Über die Steuerungseinheit wurde außerdem die Pumpleistung (75%, entspricht einer Durchflussgeschwindigkeit von ca. 8,4 m³/h) und der maximale Überdruck (0,8 bar) eingestellt. Die restlichen Parameter wurden nur gemessen und aufgezeichnet.

Betriebsweise

Der PBR wurde „semikontinuierlich“ betrieben, d.h., nach Inokulation und Anwuchsphase wird nach Erreichen der exponentiellen Wachstumsphase am optimalen Betriebspunkt dem Kulturbatch täglich ein definiertes Volumen Mikroalgensuspension entnommen und durch Frischwasser und Nährstoffe ersetzt. Die Entnahme erfolgt über den gesamten Versuchszeitraum (hier jeweils 35 Tage) einmal täglich entsprechend der Fütterungszeit.

Bei Bedarf (z.B. geringes Wachstum auf Grund schlechten Wetters) wird während des Verlaufs nachinokuliert. Die Algen können somit täglich frisch verfüttert werden. Die Entnahme der Suspension erfolgt innerhalb des Stalls über eine mit dem Reaktor verbundene, rückspülbare Ernteleitung, mit der gleichzeitig das dem Reaktor entnommene Suspensionsvolumen durch Frischwasser ersetzt wird. Die tägliche Nachdosierung der Nährstoffdosierung erfolgt volumetrisch, gesteuert über eine Zeitschaltuhr. Die Mitarbeiter müssen somit für die tägliche Bedienung des Reaktors im Routinebetrieb den Stall nicht verlassen.

Idealerweise werden täglich 200 L Algensuspension zur Fütterung entnommen und mit 200 L Trinkwasser und neuen Nährsalzen ersetzt

Während der Algenkultivierung müssen die Kollektoren in regelmäßigen Abständen zur Entfernung von Biofilmen von innen gereinigt, d.h. „gemolcht“ werden. Dieses geschieht über ein einfach zu bedienendes Schleusensystem und erfolgt bei laufendem Betrieb.

Zwischen den Versuchsreihen wird der PBR entleert, gereinigt, desinfiziert und neu angeimpft. Zur Reinigung gehörte das Molchen der Kollektorschläuche sowie das händische Reinigen des Misch tanks, um so viel angewachsene Biomasse wie möglich zu entfernen. Der Reaktor wird mit frischem Wasser gespült, gefüllt und für ca. 24 h mit 0,5%iger Wasserstoffperoxidlösung desinfiziert.

Das Reinigungswasser wird durch Frischwasser ersetzt und der Kultivierungsprozess erneut gestartet.

Der PBR wurde regelmäßig durch Fachpersonal von GICON® betreut. Ein bis zwei Mal pro Woche wurden dabei die aufgezeichneten Betriebsparameter und die generelle, technische Funktionsfähigkeit überprüft sowie Proben von der Algensuspension genommen und analysiert.

Analytik

Die Analyse umfasste die Bestimmung der Biotrockenmasse, die Bestimmung der Nährstoffkonzentration und die Beurteilung der Kultur unter dem Mikroskop.

Zur Bestimmung der Biotrockenmasse wurde ein definiertes Volumen der Suspension über Vakuum auf einen Glasfaserfilter gegeben, um die wässrige Phase von der flüssigen zu trennen. Die zurückgehaltene Biomasse wurde mit frischem Wasser (doppeltes Probenvolumen) gespült, um lösliche Rückstände zu entfernen. Anschließend wurde der Filter mit der Biomasse bis zur Gewichtskonstanz in einer Trocknungswaage getrocknet. Vor der Benutzung wurde der Filter auf der Trocknungswaage tariert.

Die Konzentrationen von Nitrat und Phosphat wurden mit quantitativen Teststäbchen (Roth) bestimmt.

Bei der mikroskopischen Ansprache der Algensuspension wurden folgende Merkmale bewertet:

- Zustand der Algen: Aussehen der Zellen, Vorhandensein von Teilungsstadien, Aggregatbildung, Verhältnis der Algenspezies zueinander
- Kontaminanten: Bakterien, Pilze, Wassertierchen (Art und Anteil)

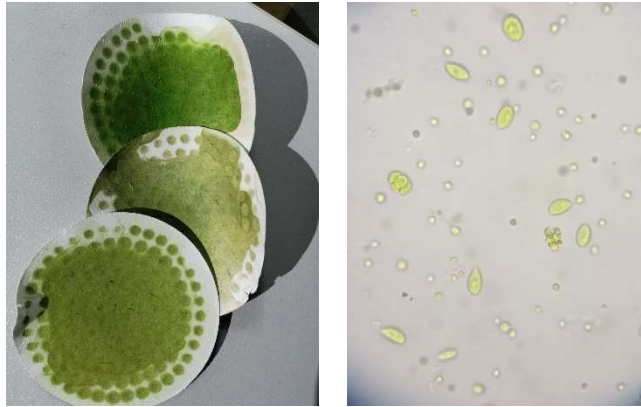


Abbildung 4 Analysemethoden während der Mikroalgenkultivierung im GICON®-PBR: Biotrockenmassebestimmung auf Glasfaserfiltern mittels Trocknungswaage (links) und Beurteilung des Kulturzustandes mittel Mikroskopie

2.2.3 Agraset

Geplant war die Errichtung eines Photobioreaktors und die Kultivierung und Anzüchtung der Algenmasse, die anschließend in die vorhandene Flüssigfütterungsanlage kontinuierlich eingespeist werden soll. Damit sollte bei allen Fütterungen eine kontinuierliche Versorgung mit der Algenmasse erreicht werden.

Erste Vorversuche mit eingefrorener und zur Fütterung wieder aufgetauter Algenmasse, deren Verabreichung manuell einmal täglich direkt in den Trog erfolgte, versprachen eine bessere Tiergesundheit bei besseren Zunahmen. Diese Ergebnisse waren Grundlage für das weitere Vorgehen.



Abbildung 5 Aufnahme der Schweine nach einer der ersten Algen-Zufütterungen bei den Vorversuchen. Durch die manuelle Zugabe der Algen auf das Futter wurden diese nicht nur gefressen sondern auch auf den Schnauzen der Tiere verteilt.

Allgemeine Informationen

Die Versuche wurden auf dem Betrieb der Agraset-Agrargenossenschaft e.G. Naundorf durchgeführt.

Die Versuchszeiträume erstreckten sich vom 10.11.-15.12.2021 (Versuch 1), 09.03.-13.04.2022 (Versuch 2), 27.04.-24.05.2022 (Versuch 3), 25.05.-29.06.2022 (Versuch 4), 06.07.-10.08.2022 (Versuch 5) sowie 17.08.-21.09.2022 (Versuch 6). Die Kohorten wurden in Buchten zu je 10 Tieren auf Spaltenboden gehalten. Die Tiere wurden gemischtgeschlechtlich aufgestellt. Futter über Flüssigfütterung stand den Tieren über den gesamten Zeitraum am Kurztrog *ad libitum* zur Verfügung (Tier-Fressplatzverhältnis 3:1). Zusätzlich zum einfallenden Tageslicht wurde Kunstlicht (Lichtprogramm) zu den Fütterungszeiten um 04:00 Uhr, 08:00 Uhr, 12:00 Uhr, 16:00 Uhr und 20:00 Uhr für jeweils 2 Stunden eingesetzt.

Die Tiere wurden bis zu Tag 14 mit dem FAZ-Futter gefüttert. An den Tagen 15, 16 und 17 wurde das FAZ-Futter mit VM-Futter verschnitten (15,50% und 75%). Ab Tag 18 wurden die Tiere mit VM-Futter gefüttert. Der Versuchsration wurden zusätzlich zur Kontrollration wie nachfolgend beschrieben Algen (Mikroalgen aus Chlorella-Cluster) beigemischt.

Fütterungsversuche mit Mikroalgenzugabe

Die Versuchsgruppengröße der Tiere umfasste planmäßig ca. 300 Ferkel (280-320), genauso wie die Vergleichsgruppen. Die Ferkel, welche in der betreffenden Woche aus der Ferkelaufzucht geliefert wurden, wurden auf 8 Buchten verteilt. Die Zuordnung in den Buchten erfolgte nach Startgewicht. Versuchs- und Kontrollgruppen wurde bei jedem Versuch mit einer Woche Abstand eingestallt. Die Versuche dauerten von der Zeit der Einstallung der Tiere bis zum Umstallten aus den Abteilen der Vormast in die Abteile der Mittelmast, und umfassten einen Zeitraum von jeweils 35 Tagen. In diesem Zeitraum wurden die Tiere im Abstand von 7 Tagen gewogen, der Gesundheitszustand erfasst und die Anzahl der verstorbenen oder entnommenen Tiere sowie die Gabe von antibiotisch wirkenden Medikamenten dokumentiert. Hinzu kam die sensortechnische Erfassung (siehe Kapitel 2.2.4) der Stallluftzusammensetzung sowie die Beobachtung des Sozialverhaltens der Tiere durch die Agraset-Mitarbeiter.

Im Rahmen der Fütterungsversuche mit Algensuspension aus dem PBR wurde täglich ein Volumen von 200 L Mikroalgensuspension aus dem PBR über eine Ernteleitung direkt im Stall entnommen. Die Suspension wurde dann ohne Aufbereitung für die einzelnen Fütterungen vorgehalten. Die Dosierung der Algen erfolgte über eine für diese Zwecke modifizierte Medikamentendosierer zu jeder Fütterung über den Tag verteilt. Bei der Algengruppe wurde mit der Algensuspension ein äquivalenter Teil des Wassers zum Anmischen des Futters ersetzt. Die durchschnittliche BTM-Konzentration lag bei 1,5 g/L, was zu einer Fütterung von 1 g_{BTM} Algen pro Schwein und Tag führte.

In der Kontrollgruppe wurden keine Veränderungen an der Fütterung vorgenommen.

Nach Ende der Vormastperiode erhielten die Versuchsgruppen keine Algen mehr, die Gruppen wurden jedoch weiterhin intensiv betreut und Daten erfasst.

Aufgrund verschiedener äußerer Schwierigkeiten (Corona-Maßnahmen, Krankheit, Lieferprobleme) hat sich die Errichtung des Photobioreaktors und der erforderlichen Peripherie verzögert. Um den geplanten Versuchsablauf trotzdem sicherzustellen, wurde in der Zeit von November 2021 bis Mai 2022 tiefgefrorene Algensuspension an die Tiere einmal täglich zur 2. Fütterung verabreicht. Hierbei wurden täglich 8 L Algenslurry (ca. 10% BTM) aufgetaut und mit 190 L Wasser verdünnt. Daraus ergab sich eine Biomassekonzentration von 4 g/L in der finalen Suspension, die dem Futter zugegeben wurde. Das resultierte in die Aufnahme von ca. 2,5 – 2,7 g_{BTM} Algen pro Schwein und Tag. Erst mit der finalen Inbetriebnahme des Photobioreaktors und damit dem regelmäßigen Ernteprozess der frischen Algenmasse erfolgte die Dosierung über den Dosierautomaten zu jeder Fütterung über den Tag verteilt.

Auf die ursprünglich vorgesehene Miete eines NIRS-Sensors zur Bestimmung der Futterqualität wurde verzichtet, da mit diesem Messverfahren die durch Algenzusatz zum Futter generierten minimalen Veränderungen in der Zusammensetzung mit dieser Methode nicht detektierbar sind. Schon im ersten Fütterungsversuch bestätigte sich jedoch der Trend einer verbesserten Futtermittelverwertung. Dieser Effekt sollte sich schon aus rein bilanziellen Gründen in einer veränderten Emissionslage der Tiere niederschlagen. Da die Gas-Emissionen sowohl der Schweinehaltung als auch im Umweltschutz ein wichtiges Thema sind, war für die Beschreibung des Projekterfolges das Monitoring der Gaszusammensetzung im Stall von größerer Relevanz als der Einsatz eines NIRS-Gerätes zur täglichen Messung der Futterqualitäten am Stall.

Alternativ wurde daher die Installation von „Umweltsensoren“ (H₂S; NH₃; Temperatur usw.) zum Monitoring der Stallluft vorgenommen.

Die Untersuchung der Futterqualitäten erfolgte nunmehr im spezialisierten Futterlabor des LKS Sachsen. Die Kombination aus Monitoring der Stallluft und Futterlabor bot somit, basierend auf den Erkenntnissen des Vorversuchs, den besten Nutzen für den weiteren Projektfortschritt.

2.2.4 Fodjan

Klima-Sensoren

Zur kontinuierlichen Messung der äußeren Bedingungen in den Abteilen (Stallklima, Schadgaskonzentration & Licht) wurden im Vorversuch, jeweils 2 Sensoren des Unternehmens Cynomys eingesetzt. Dabei wurden folgende Parameter alle zwanzig Minuten erfasst: Ammoniak, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Stickstoffdioxid, Methan, Flüchtige

organische Verbindungen, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Temperatur-Feuchte-Index, Beleuchtungsstärke, Lautstärke und der Druck.

Datengrundlage und statistische Auswertung

Alle leistungsbezogenen Rohdaten standen in Form von Mittelwerten der einzelnen Buchten der Versuchsabteile zur Verfügung. Gewichtsmessungen wurden einmal aller sieben Tage erhoben. Die jeweils acht Buchten eines Abteils sind dabei als zufällige wiederholte Beobachtungen anzusehen. Jeweils ein Abteil bildete eine Behandlungsgruppe (Kontrolle/Versuch) ab. Auch für die Merkmale Tierentnahme sowie Therapieindex, welche für die Bewertung des Tierwohls herangezogen wurden, standen Dokumentationen der Einzelbuchten der Versuchsabteile zur Verfügung. Diese wurden tagesaktuell geführt. In der weiteren Betrachtung wurde diese auch für die tagesaktuellen Tierzahlen verwendet. Fütterungsdaten standen je Dosierventil täglich als Mittelwert von je zwei Buchten eines Abteils (einer Versuchsgruppe) zur Verfügung.

Die erlangten Rohdaten wurden im Anschluss bezüglich der statistischen Modellwahl auf Normalverteilung untersucht. Am Beispiel der täglichen Zunahme [g/Tag] sind die Ergebnisse der Residuen-Analyse in Abbildung 6 dargestellt.

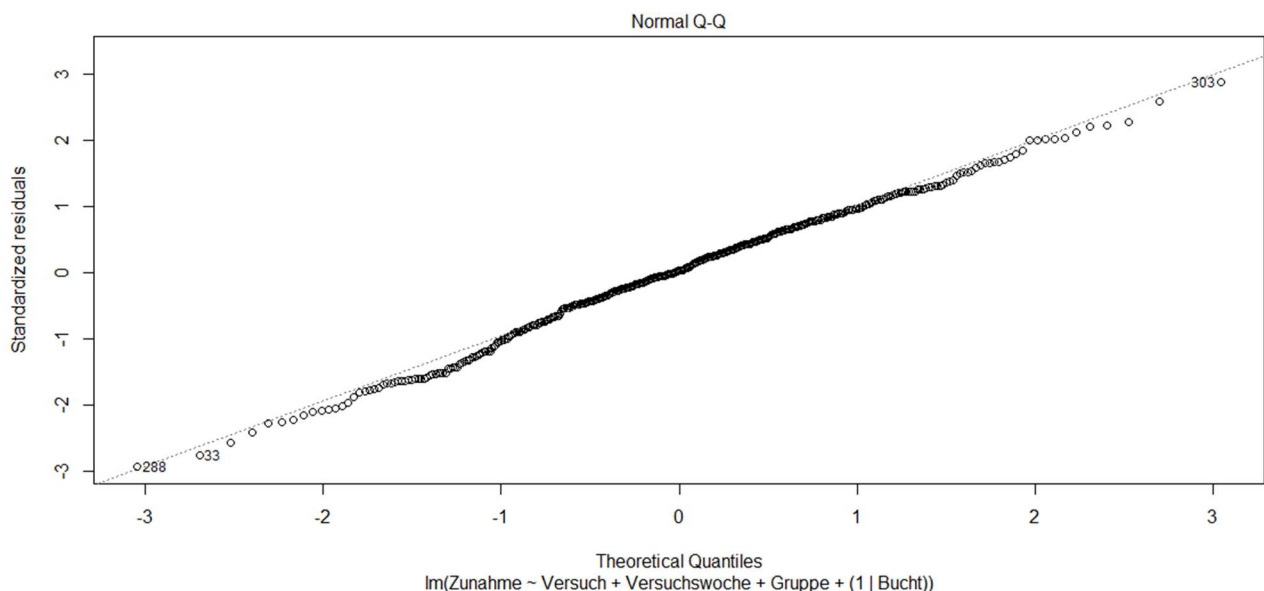


Abbildung 6 Grafische Darstellungen der Residuen der Schätzgleichung für das Merkmal tägliche Zunahme [g/Tag] als Test auf Normalverteilung (Gruppe=Kontrolle vs. Algensupplementation)

Wie in diesem Beispiel folgen auch die Resteffekte der anderen Schätzmodelle einer Normalverteilung. Es werden damit einfache lineare gemischte Modelle nach der folgenden Struktur angewandt:

Formel 1 Angewandtes allgemeines lineares gemischtes Modell

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{ij} + \gamma_{ijk} + d_{ijkl} + e_{ijkl}$$

mit

Y_{ijk} ... geschätztes Ergebnis in Versuch i , Versuchswoche ij und Behandlung ijk

μ ... allgemeines Mittel der Schätzung

α_i ... fester Effekt des i – ten Versuchs

β_{ij} ... fester Effekt der Versuchswoche j in Versuchs i

γ_{ijk} ... fester Effekt der Behandlung k in Versuchswoche j , Versuch i

d_{ijkl} ... zufälliger Effekt der Bucht l in Behandlung k , Versuchswoche j , Versuch i

γ_{ijk} ... zufälliger Resteffekt der Bucht l in Behandlung k , Versuchswoche j , Versuch i

Weiterhin erfolgt die Prüfung auf das Vorhandensein von Ausreißern. Dazu wird die Residuen-angepasste Darstellung in Abbildung 7 genutzt. Wie hier am Beispiel der täglichen Zunahme [g/Tag] finden sich in den erlangten Datenpunkten nur sehr wenige als Ausreißer zu identifizierende Werte. Zur Eliminierung aus der Grundgesamtheit kam es lediglich bei vier Datensätzen, die außerhalb der dreifachen Standardabweichung der Beobachtungswerte lagen ($\pm 3\delta$).

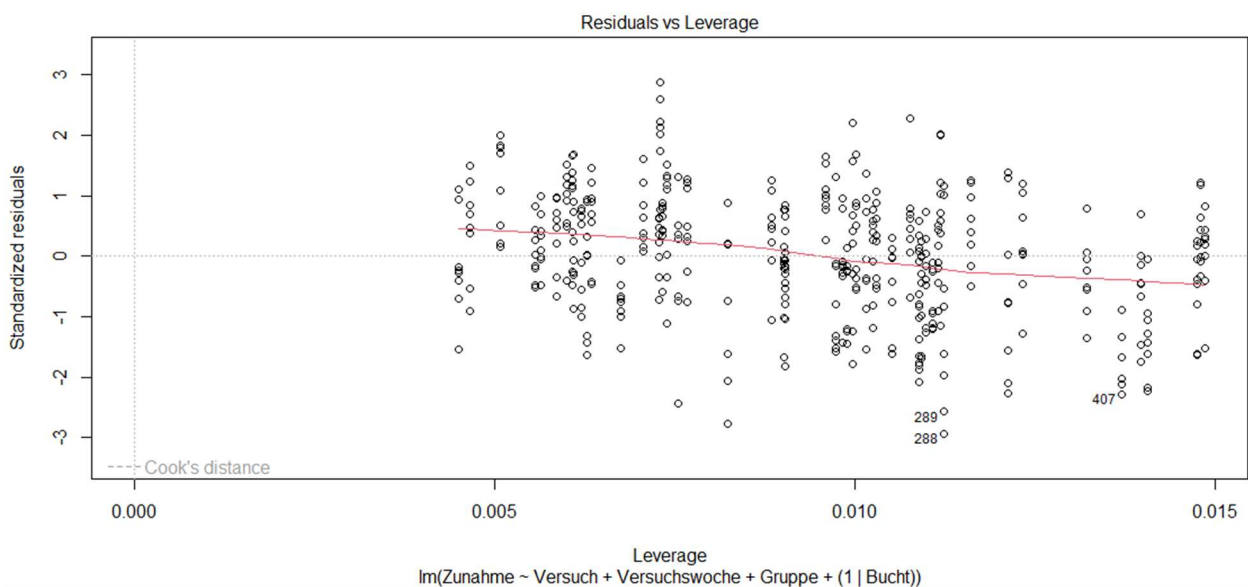


Abbildung 7 Residuen-angepasster Ausreißertest des Merkmals tägliche Zunahme [g/Tag] der Schätzgleichung (Gruppe=Kontrolle vs. Algensupplementation)

Dieser Datensatz konnte für die Schätzung der Algeneffekte in den nachfolgenden Merkmalen sowohl für die deskriptive Darstellung sowie die mathematisch statistische Analyse verwendet werden.

Tierwohlindikator – Therapieindex

Die Berechnung der Therapiehäufigkeit antibiotischer Wirkstoffe anhand des Therapieindex [dimensionslos] erfolgte anhand der im QS Prüfsystem sowie der im System der nationalen Antibiotikadatenbank im HI-Tier verwendeten Methode. Diese ist in der nachfolgenden Formel 2 beschrieben.

Formel 2 Berechnung des Therapieindex

Therapieindex

$$= \frac{\sum(\text{Anwendungsdauer inkl. Wirktage} * \text{Anzahl Wirkstoffe} * \text{Anzahl behandelter Tiere})}{\text{Tierzahl im Bestand}}$$

Die Eignung des Therapieindex als ein Indikator zur Bewertung des Tierwohls sowie eine entsprechende Ziel- und Grenzwertformulierung wurde im Projekt EiKoTiGer hinreichend belegt (Schultheiß, 2021).

Da unterlassene Behandlungen meist zu weiteren negativen Effekten, wie Sekundär- oder chronische Erkrankungen, Verhaltensänderungen, Leistungsdepression u.a. führen, stellt der Indikator eine sehr valide Maßzahl für den Gesundheitszustand der Tiere dar.

Nachhaltigkeitsindikator – Stickstoff-Effizienz

Die Stickstoff-Nutzungseffizienz wird als Verhältnis der im Produkt gebundenen N-Menge zu der über das Futter zugeführten N-Menge in Prozent berechnet. Dazu werden anhand mittlerer N-Gehalte des Futterproteins und des Fleischansatzes aus den Futtermengen und Tiergewichten die Futter-N-Menge und der N-Ansatz im Wachstum quantifiziert. Die genaue Berechnung erfolgt anhand der nachfolgenden Formel 3.

Formel 3 Berechnung der N-Effizienz [%]

$$N - \text{Effizienz}[\%] = \frac{LM \text{ Ansatz}[kg] * 0,0256 \left[\frac{kg N}{kg \text{ Ansatz}} \right]}{Futtermenge[kg] * XP - \text{Gehalt} \left[\frac{g}{kg TS} \right] : 6,25} * 100$$

3 Projektergebnisse

3.1 Einschätzung der Zielerreichung

Ziel: Nachweis der deutlichen Senkung des Kostenanteils der Mikroalgenbiomasse durch Direkteinsatz der Frischmasse ohne ansonsten erforderlichen Aufbereitungs- und Zwischenlageraufwand, Verlagerung eines Teils der Wertschöpfungskette zum Landwirt.

- ➔ Das Ziel wurde erreicht. Mit der Kultivierung in einem Photobioreaktor (GICON-PBR) direkt neben dem Stall konnte täglich frische Algenbiomasse geerntet und ohne Zwischenlagerung oder Aufbereitung dem Futter beigemischt werden. Auch in Anbetracht der Abschreibungskosten und des Personalaufwands wurden die Kosten der regelmäßigen Besorgung von Algenbiomasse, deren Transport und deren Lagerung eingespart. Die sich bei Nutzung dieses Verfahrens ergebenden Erstellungskosten für die Algenbiomasse sind geringer als die bei Einkauf vergleichbarer Algenbiomasse erforderlichen finanziellen Aufwendungen.

Ziel: Darstellung der Synergieeffekte der Kopplung der Mikroalgenkultivierung in dem innovativen GICON-PBR mit Produktionsprozessen aus Lebensmittelindustrie und Landwirtschaft, hauptsächlich in den Bereichen Tierwohl, Energieversorgung, Prozesslogistik und Personalkosten.

- ➔ Dieses Ziel wurde erreicht. Es konnte der Nachweis erbracht werden, dass durch Supplementation mit Algenbiomasse ein höherer Erlös in der Mast erbracht werden kann, der sich in nicht geringem Teil in einem verringerten Medikamenteneinsatz begründet. Prozessseitig konnten Synergien, hier durch die Verknüpfung der Kühlung des PBR und der Erwärmung des Brauchwassers, geschaffen werden. Bei Vorliegen entsprechender Randbedingungen (externer Wartung und biologischer Betreuung des PBR) ist der zusätzliche Personalaufwand vor Ort für den PBR-Betrieb als gering einzuschätzen.

Ziel: Wissenschaftlich begleiteter Nachweis der Wirkungen der Zufütterung der Algenbiomasse auf die Qualität, Produktivität und das Tierwohl unter Praxisbedingungen.

- ➔ Dieses Ziel wurde erreicht. Es konnte anhand der Ergebnisse der Praxisversuche mit statistischer Signifikanz gezeigt werden, dass sich sowohl die Leistung, also die Zunahme im Zeitraum der Algenzugabe, als auch die Medikamentengabe und die Tierentnahme zum Positiven verändert haben. Mit den an der Universität Rostock durchgeführten Versuchsreihen (Fermentationsversuche im Ankom-System) konnte eine positiv interpretierbare Beeinflussung des Fermentationsverhaltens unter Algenzusatz in vitro aufgezeigt werden.

Ziel: Entwicklung und Praxistest innovativer Methoden der Sensorik, Datenerfassung und Datenbewertung entlang der landwirtschaftlichen Produktionskette als Instrument der Qualitätssicherung.

- ➔ Dieses Ziel wurde erreicht. Sowohl die Methodenwahl als auch die angestrebten zu erhebenden Parameter und daraus zu analysierenden Ergebnissen entsprachen in hohem Maße der im Projekt geplanten Vorgehensweise und Ziele. Einige wenige Abweichungen von zu beurteilenden Merkmalen mussten innerhalb der Projektdurchführung in Absprache mit der OG beschlossen werden, welche im nachfolgenden Abschnitt beschrieben werden. Die erlangten Ergebnisse werden dadurch jedoch nicht gemindert.
Aus weitestgehend technischen Gründen und einem im Projektrahmen nicht

realisierbaren Managementaufwand, konnten einige der angestrebten Merkmale nicht oder nicht vollständig erhoben werden. Dazu zählen unter anderem die Quantifizierung der Wasseraufnahme, sowie Aktivität und Aggressivität der Tiere. Ebenso konnten Schlachtdatenbefunde im durchgeführten Management nicht einzelnen Versuchsgruppen zugeordnet werden. Dieses Vorgehen konnte erst innerhalb der Projektphase als geeigneter Weg der Umsetzung der Projektziele bestimmt werden und wurde innerhalb der OG miteinander diskutiert und beschlossen. Die gestellten Ziele konnten auch trotz der notwendigen Anpassungen erreicht werden.

3.2 Hauptergebnisse des Projektes

3.2.1 Voruntersuchungen zur Verdaulichkeit der Mikroalgen

In den Versuchen mit dem Ankom RF Gas Production System wurde die Verdaulichkeit von Mikroalgen zusammen mit Futtermittel (FM) und Schweinekotsuspension als Inokulum untersucht. Es konnten Veränderungen in der Gasbildung bei der Zugabe von Mikroalgen beobachtet werden. Auch der pH-Wert der Gärsuspension hat sich leicht verändert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt.

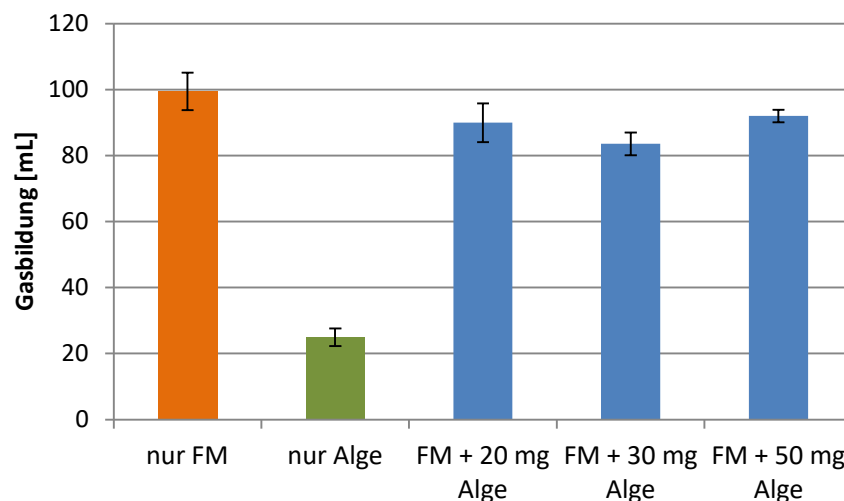


Abbildung 8 Gasbildung nach 48 h Inkubation in mL pro Flasche in Abhängigkeit vom Substrat

Durch die Zugabe von Mikroalgen konnte eine deutliche Abnahme des gebildeten Gasvolumens im Vergleich zur Referenz (nur FM) beobachtet werden. Eine Abhängigkeit von der Konzentration der zugebenen Algensuspension ist dabei nicht ersichtlich.

Die reproduzierbar nachgewiesene Verringerung des detektierten Gasvolumens ist mit einer Veränderung der Gaszusammensetzung seitens der gebildeten niedermolekularen Fettsäuren verbunden und somit nicht auf eine bloße Inhibition des Fermentationsprozesses zurückzuführen. Es findet eine Verschiebung von Essigsäure zu Propion- und Buttersäure statt, was zumindest unter den Fermentationsbedingungen auf eine Beeinflussung des Mikrobioms hindeutet.

Die Veränderungen des pH-Wertes sind in den Ansätzen auf Futtermittel und Alge nur geringfügig.

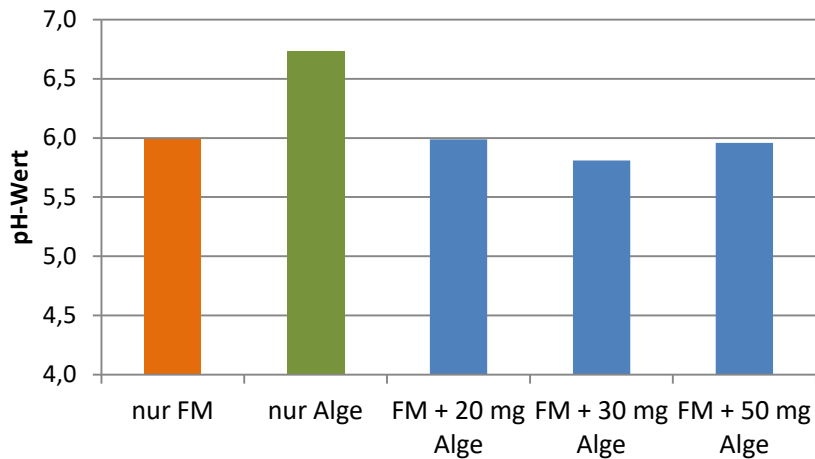


Abbildung 9 pH-Wert in Abhängigkeit vom Substrat

3.2.2 Umsetzung in der Praxis – Darstellung der Synergieeffekte

Zur Realisierung des Vorhabens, frische, unverarbeitete Mikroalgen an Schweine in der Vormast zu verfüttern, ist ein Photobioreaktor (PBR) zur Kultivierung der Algen direkt am Hof notwendig. Alternativ könnte frischer Algenslyrry täglich von einem zentralen Produzenten geliefert werden, dieses würde aber eine Produktion in der näheren Umgebung voraussetzen, um Transportlogistik und -kosten vertretbar zu halten. Ziel war es daher, einen PBR zur Algenkultivierung synergistisch in die Kreisläufe des Agrarbetriebs einzubinden. Damit sollte eine Reduktion der Kosten für die Algensupplementation erreicht werden.

3.2.2.1 Planung und Entwicklung der Kultivierungseinheit für Mikroalgen

Der in Kapitel 2.2.2 beschriebene GICON®-PBR wurde den örtlichen und finanziellen Möglichkeiten entsprechend wie nachfolgend erläutert angepasst und integriert.

Standort

Die Standortwahl für den Photobioreaktor wurde an folgende Rahmenbedingungen geknüpft:

- ganztägige Verfügbarkeit von Sonnenlicht zum Erreichen der größtmöglichen Produktivität
- Unmittelbare Nähe zur Futtermittelzubereitung und Stall, um mit geringem Materialaufwand Rohleitungen für die Ernte verlegen zu können und um Wege zum Reaktor kurz und damit den Zeitaufwand für die Mitarbeiter gering zu halten
- Zugänglichkeit für Mitarbeiter von Agraset zum Bedienen der Erntevorrichtung und Mitarbeiter von GICON für die einfache und unabhängige Wartung des PBRs
- Standort auf versiegelter Fläche, die nicht für anderweitige wirtschaftliche Zwecke nutzbar ist.

Auf dieser Grundlage wurde eine Freifläche am süd-westlichen Ende des Stallgebäudes gewählt, worin auch die Versuchskohorten gehalten wurden.

Kühlung

Ein energieaufwendiger Teilprozess der Algenproduktion ist die Kühlung des Photobioreaktors. Aufgrund des großen Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnisses und der in Richtung maximaler Lichtabsorption optimierten Kollektorgeometrie erfolgt auch ein sehr hoher Wärmeeintrag (nur ca. 5% des auftreffenden Sonnenlichtes stehen für die Photosynthese zur Verfügung, der Rest fällt als Wärme an). Um eine ideale Kultivierungstemperatur zu erreichen, muss deshalb überschüssige Wärme aus dem System ausgetragen werden. Dieses wird durch ein an die Bedingungen am Standort angepasstes Wärmetauschersystem realisiert. Der im Kollektor genutzte Doppelschlauch ermöglicht es, Kühlwasser im Gegenstromverfahren direkt durch das Kollektorsystem zu leiten. Von dort fließt es in einen Vorlagebehälter, aus dem es über einen Wärmetauscher im Trinkwasserspeicher des Stalls wieder zurück in den Kollektor gepumpt wird. Dieses führt gleichzeitig zu einer leichten Temperaturerhöhung des für den Fütterungsprozess im Stall strukturmäßig zu erhaltenden Trinkwassers bei gleichzeitiger Temperierung des Photobioreaktors.

So konnte zusätzlich Wärmeenergie für die Temperierung eingespart werden. Das kalte Kühlwasser wurde anschließend zurück in die Kollektoren geleitet.

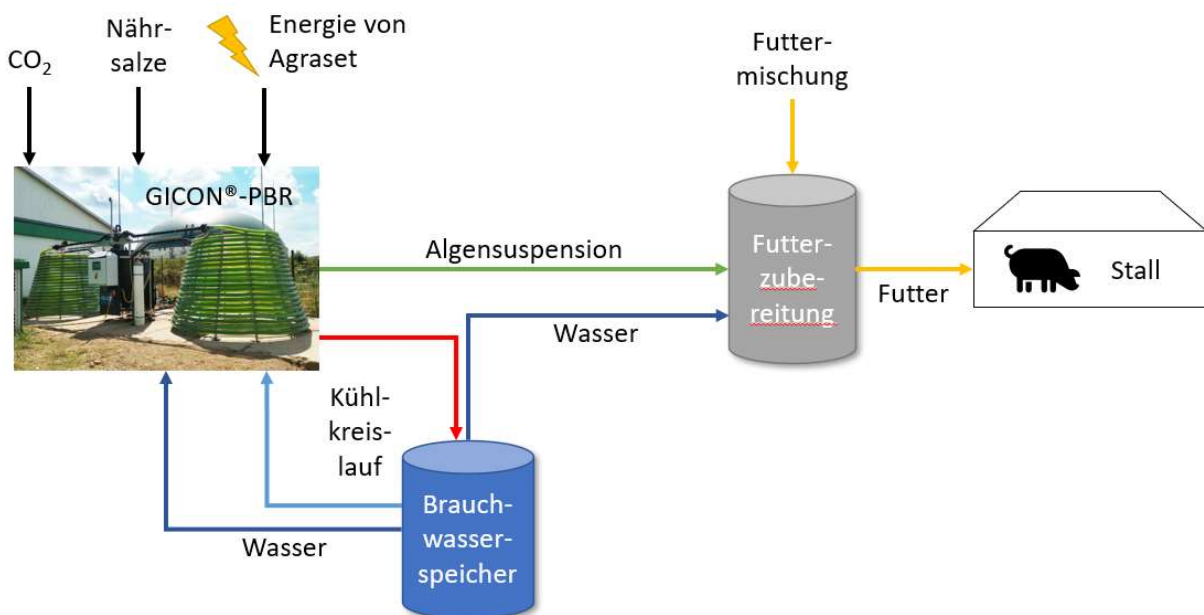


Abbildung 10 Schema der Einbindungen der Mikroalgenproduktion am Hof

Ernte

Im Rahmen des Projektes sollte frische Algenbiomasse ohne weitere Zwischenlagerung oder Aufbereitung dem Tierfutter beigemischt werden. Um ein Vorgehen ohne Mehraufwand für die Agraset-Mitarbeiter zu ermöglichen, wurde eine Ernteleitung an einen Anschlussstutzen druckseitig oberhalb der Umwälzpumpe installiert. Die Leitung führt direkt in den Stall und ist separat beidseitig schließbar. Bei normalem Betriebsdruck des Reaktors kann nunmehr durch Öffnen des Absperrhahns im Stall Algensuspension im Teilstrom in den Medikamentendosierer dort gepumpt werden. Während dieses Vorgangs muss nicht in die Steuerung des PBRs eingegriffen werden. Ist das Erntevolumen erreicht, wird Leitungswasser über dieselbe Ernteleitung mit Hilfe des anliegenden Wasserdrucks bei gleichzeitiger Rückspülung dieser Leitung zurück in den Reaktor gedrückt, um das

entnommene Volumen zu ersetzen. Anschließend müssen nur die entsprechenden Absperrventile im Stall wieder geschlossen werden.

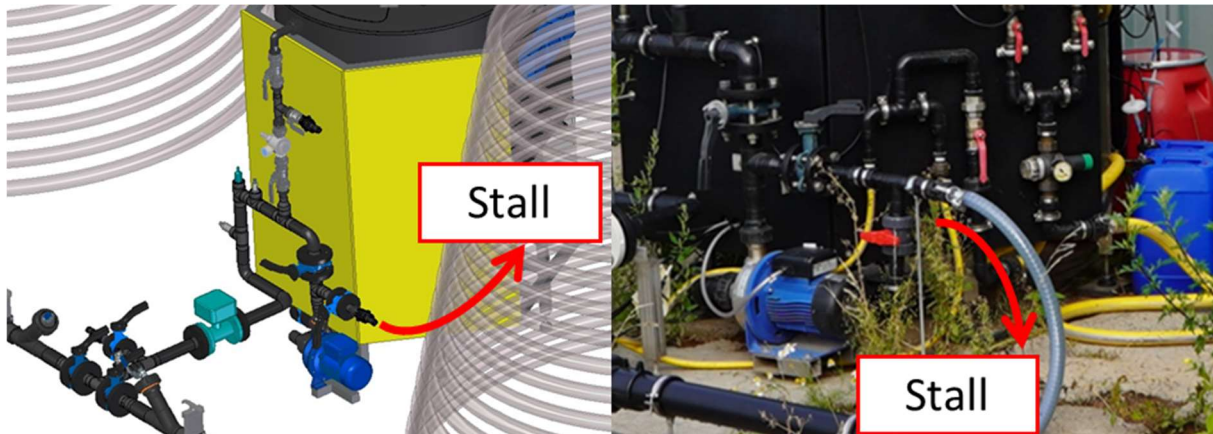


Abbildung 11 Planung (links) und Umsetzung (rechts) der Ernteleitung vom PBR zum Stall

Nährstoffdosierung

Um das periodische Ausdünnen der Nährstoffe durch Substratentnahme und die Nährstoffzehrung durch die wachsenden Mikroalgen auszugleichen, wurde ein zeitgesteuertes Dosiersystem für die Nährstofflösungen installiert. Täglich wurden nach der Ernte die vorgelösten Nährstoffkonzentrate über Dosierpumpen in den Mischtank hinzugefügt. Die Dosierung erfolgte über einen Zeitraum von 30 min, um eine gleichmäßige Verteilung der Nährstoffe zu gewährleisten. Die Nährstofflösungen wurden in einer Konzentration vorgelegt, die deren mikrobiologische Stabilität im Nährstoffstock gewährleistet.



Abbildung 12 Pumpen (unten rechts) und Zeitschaltung (unten links) zur täglichen Nachdosierung der Nährstoffe

3.2.2.2 Technische Betreuung und Wartung der Algen-Anlage

Betriebsparameter

Alle gemessenen Betriebsparameter; Temperatur, pH-Wert, O₂-Konzentration, Trübung, Druck, Durchflussgeschwindigkeit, wurden durch die Steuerung in Echtzeit in Zahlenform und für einen Zeitraum von drei Tagen graphisch ausgegeben. Eine Speicherung der Werte

erfolgte täglich um 0:00 Uhr. Die Speicherung der Daten war jedoch aufgrund eines technischen Fehlers erst ab der zweiten Kultivierung möglich.

Anhand der Parameter kann der Kultivierungserfolg, wie nachfolgend beschrieben, eingeordnet werden.

Die Suspensionstemperatur ist ein entscheidender Parameter für die Kulturstabilität. Zu hohe Temperaturen bilden, in weit größerem Umfang als zu niedrige, einen Hauptstressfaktor für den Kultivierungsprozess, der schnell bis zum Absterben der Kultur führen kann, hauptsächlich aber die Infektionsanfälligkeit erhöht. Bei Temperaturen unterhalb von 22 °C ist das Wachstum zu gering, als dass es die tägliche Verdünnung ausgleichen kann. Das Temperaturoptimum liegt für die genutzten *Chlorella* sp. nach Adaption bei rund 30 °C. Da jedoch schon geringe Temperaturabweichungen über das Optimum hinaus eine letale Wirkung auf die Algen haben können, wurde die Anlage so geregelt, dass deutlich unterhalb des Temperaturoptimums die Kühlung startete. Im Kultivierungszeitraum herrschten regelmäßig Außentemperaturen von 34 bis 38 °C bei wolkenlosem Himmel. Wie die Verläufe der Betriebstemperatur Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen, konnte mit der Kühlmethode ein Anstieg der Temperatur in der Suspension über 37 °C vermieden werden. Dieses war ausreichend, um ein Absterben der Kultur zu verhindern aber nur suboptimal. Eine höhere Kühlleistung konnte aber auf Grund der örtlichen Gegebenheiten (Größe Trinkwasserzweischleuse und daraus resultierende Kapazität) nicht installiert werden. Das kollektorinterne Doppelschlauchsystem erlaubt eine Temperierung auf den Optimalbereich selbst bei extremen Außentemperaturen.

Der pH-Wert der Anlage wird über eine CO₂-Injektion automatisch geregelt und dient somit gleichzeitig einer optimalen, für die Photosynthese erforderlichen CO₂-Versorgung der Kultur. Der Arbeits-pH-Wert lässt sich punktgenau oder auch über jeden gewünschten Bereich einstellen. Über eine pH-Elektrode wird der Wert erfasst, der verarbeitet über ein Messverstärkersystem, das Regelventil zur CO₂-Injektion ansteuert. So können auch durch externe Vorgänge erzeugte pH-Wertschwankungen automatisch kompensiert werden. Sinkt z.B. der pH-Wert nach Zugabe des heterotroph erzeugten Inokulums zur Auffrischung der Kultur unter den Arbeitsbereich ab, wird automatisch erst nach Erreichen des Betriebspunktes wieder CO₂ dosiert.

Bei der heterotrophen Kultivierung von *Chlorella vulgaris* wird als Stickstoffquelle Ammoniak/Ammonium-Verbindungen (NH₃/NH₄⁺) eingesetzt. Davon befinden sich noch Reste in Inokulum, welche bis zu deren Metabolisierung den pH-Wert durch die dabei freigesetzten Wasserstoffionen auf ca. pH 5.5 senken. Nach der Zugabe heterotrophen Inokulums sinkt aber nicht nur der pH-Wert, sondern auch die Sauerstoffkonzentration auf Werte kleiner <1 ppm (Abbildung 13). Das Absinken der O₂-Konzentration wird durch den noch auf Sauerstoffzehrung ausgelegten Stoffwechsel verursacht. Nach der Umgewöhnungsphase nimmt die Sauerstoffkonzentration wieder zu.

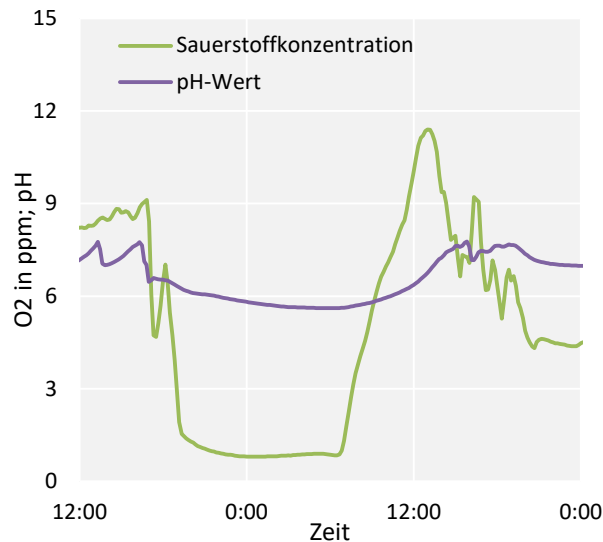


Abbildung 13 Verlauf von pH-Wert und Sauerstoffkonzentration nach der Zugabe von heterotrophem Chlorella-Inokulum bei laufender Kultivierung

Die O_2 -Konzentration spiegelt die Photosyntheseaktivität der Algenkultur wider. Die Löslichkeit von Sauerstoff in der wässrigen Kultursuspension ist stark temperaturabhängig. Bei 25°C sollte sich eine Konzentration von ca. 8 ppm einstellen, die auf Grund der starken Tendenz zur Übersättigung bei hoher Photosyntheseaktivität durchaus auch 20 ppm erreichen kann. Formal ist aber ein hoher, weit über der Sättigungskonzentration liegender Sauerstoffgehalt entsprechend des chemischen Gleichgewichts der Photosynthese für letztere inhibierend. Aufgrund der Bauweise des Reaktors ist eine hohe Übersättigung der Suspension mit Sauerstoff jedoch nicht möglich, da der Suspensionsrücklauf als Entgaser konstruiert wurde. Die starke Durchmischung im Fallrohr lässt überschüssigen Sauerstoff entweichen und aufgrund des Lichtmangels im Tank ist die Photosyntheseaktivität dort eingeschränkt. Der Messwert kann jedoch fehlende Photosynthese oder heterotrophes, also Sauerstoff zehrendes, Wachstum indizieren. Dies trat zum Beispiel nach der Zugabe heterotrophen Inokulums ein. Die Algen mussten sich erst an das phototrophe Wachstum adaptieren und verbrauchen in diesem Adaptionszeitraum weiterhin Sauerstoff. Auch verschiedene Kontaminationen können zu einem Abbau des Sauerstoffs führen. Auch die Zugabe von Glucose unter mixotrophen Bedingungen führt zu einer kurzzeitigen Absenkung des Sauerstoffgehaltes unter die Sättigungskonzentration.

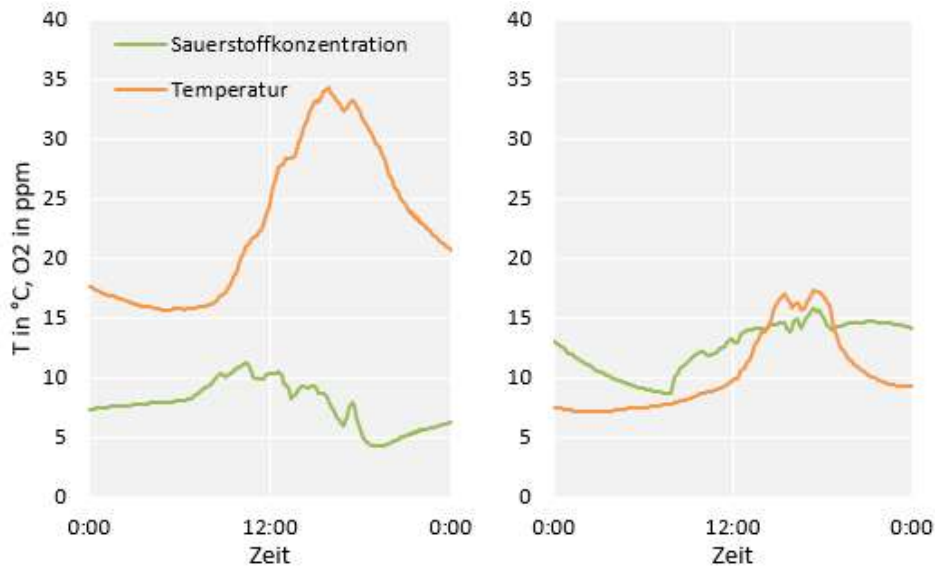


Abbildung 14 Gegenüberstellung des Verlaufs von Temperatur und Sauerstoffkonzentration an einem warmen (37 °C) sowie einem kühlen Tag (14 °C)

3.2.3 Nachweis des Effektes der Algenfütterung

3.2.3.1 Programmierarbeiten

Die Umsetzung der Programmierarbeiten erfolgte in der Zeit zwischen Projektmonat 4 und 24. Nach der Sichtung der bereits im System verfügbaren Daten und in der Vorausschau neu entstehender Key-Performance-Indikator (KPIs). Diese Schlüsselkennzahlen sollen dem Nutzer die Einordnung des aktuellen Standes zur gesetzten Zielvorgabe verdeutlichen. Im ersten Projektjahr wurde dazu die notwendige Datenbankstruktur geschaffen, bzw. die vorhandene erweitert. Ziel war es, eine Struktur zu schaffen, die sachlogisch die entsprechenden Informationen zusammenführt, dabei möglichst einfache Hub-Datenbanken zu schaffen, welche einzeln angesprochen werden können und eine Struktur für neu berechnete Werte zu schaffen. Die darauffolgenden Programmierarbeiten widmeten sich der Verknüpfung der entsprechenden gespeicherten Hub Informationen für die Berechnungslogik der gewünschten KPIs im Backend der Software. In diesem Schritt verdichteten sich auch die Überlegungen nach einer geeigneten Oberfläche zur Ergebnisdarstellung in die vorhandene Menüstruktur der Software sowie neu zu erstellende Seiten, einzelne Pop-ups oder Formulare. Diesem Prozess kam zugute, dass zeitgleich an dem Horizon2020-Projekt ATLAS gearbeitet wurde (ATLAS, 2019). In diesem wird unter anderem die Backend- und Frontend-Struktur in der Software um die Funktionalitäten des Managements wachsender Tiergruppen erweitert. Diese Struktur konnte konzeptionell für die Bedarfe einer ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltigen Schweinemast erweitert werden. Auch Aspekte der Tiergesundheits- und Tierwohlbewertung konnten für deren Implementierung und Anwendung vorgedacht werden. Dabei flossen die Überlegungen im Projektmanagement seitens fodjan direkt in die Planung der programmiertechnischen Umsetzung ein. Im Fokus standen auch die Berücksichtigung von Datenvalidität, Datenverfügbarkeit und möglichen Fallback-Szenarien in den Implementierungen der Backend-Struktur. Im weiteren Projektverlauf wurden vordefinierte Reports geschaffen um die Ermittelten KPIs durch vorhandene oder noch zu schaffende Queries abgefragt werden können.

Die Ergebnisse dieser Arbeitsschritte konnten direkt für die bereits in der Software vorhandenen Optimierungs-Berechnungen eingearbeitet werden. Dabei wurde ersichtlich, dass durch die neue Struktur, die neuen KPIs, welche als Zielgrößen oder Nebenbedingungen für die Optimierung dienen können, ein deutlicher Mehrwert für den Nutzer geschaffen werden kann. Die im Projekt erlangten Ergebnisse, deren anschließende Einbindung in Szenarien-Berechnungen und die Übersicht über die Auswirkungen unterschiedlicher Behandlungen, zeigen deutlich die Notwendigkeit und den Nutzen einer solchen Erweiterung in eine bestehende Rationsberechnungs- und Optimierungssoftware. Diese werden in Zukunft auch für zahlreiche weitere Behandlungseffekte, neben denen der Supplementierung nutritiver, präbiotischer und probiotischer Substanzen, ermöglichen. Diese könnten beispielsweise auch tierärztliche Behandlungen, Umstellungen der Haltungsumwelt sowie das Management weiterer äußerer Bedingungen sein. Wichtig ist, dass es bei diesen Optimierungen – bislang Rationsoptimierungen – eine transparente Vorhersage von Ergebnissen gibt. So kann der Tierhalter mögliche Entscheidungsvarianten als Szenarien vorausblicken. Auch die Preiswürdigkeit möglicher Alternativen im Gesamtprozess ist damit besser kalkulierbar.

Die Zielstellung der Programmierarbeiten und Rationsoptimierungen wurde im Projekt durch ein Konzept einer angepassten Nutzeroberfläche in Form eines Prototyps finalisiert. Dabei wurde ersichtlich, dass neben den im Projekt gesammelten Datentypen und Merkmalen weitere ergänzt werden müssen. Außerdem wird es weitere Überlegungen zur Anpassung der Frontend-Struktur in der vorhandenen Software geben müssen. Der momentane Prototyp wurde als MS Excel Anwendung erstellt und kann somit kontinuierlich bis zur Programmierreife weiterentwickelt und verändert werden. Vor der programmiertechnischen Umsetzung muss außerdem eine Evaluierung mit den betreuenden Tierwirten, Herdenmanagern und Beratern erfolgen, die bereits initiiert wurde. Dabei müssen auch die Gegebenheiten der Multifunktionalität für andere Szenarien gegeben sein.

Die angestrebten Projektziele konnten somit in weiten Teilen deutlich weiterentwickelt werden, als es initial angedacht war. Das erarbeitete Konzept sowie der erstellte Prototyp stehen damit unmittelbar vor der Implementierung in die Software. Diese wird durch die sich neu entwickelnden Features einen erheblichen Mehrwert für die aktuellen Nutzer ergeben und weitere Nutzergruppen für eine ganzheitliche Managementhilfe für die Schweinemast sensibilisieren.

3.2.3.2 Futtermittelanalyse

Die Algenfrischmasse wurde über alle Versuchsdurchgänge hinweg in die üblichen Futterrationen des Betriebs Agraset Naundorf e.G. eingemischt. Dazu wurde das Ferkelaufzuchtfutter sowie das Vormastfutter des Betriebes verwendet. Die Rationen wurden mit den gleichen Komponenten gemischt und homogen in der Zusammensetzung über den gesamten Versuchszeitraum hinweg bereitgestellt. In den ersten drei Versuchsdurchgängen erfolgte die laboranalytische Untersuchung der jeweiligen Rationen auf deren Rohnährstoffgehalte sowie Gehalte an Mengenelementen, Umsetzbarer Energie und essenziellen Aminosäuren im Labor der LKS mbH. Die Ergebnisse der Einzelanalysen sind in Tabelle 5 veranschaulicht.

Tabelle 5 Laboranalytische Ergebnisse ausgewählter Nährstoffe der eingesetzten Rationen (2022)

	Einheit	FAZ	FAZ +	FAZ	FAZ +	FAZ	FAZ	VM	VM	VM	VM
			Alge		Alge		Alge		Alge		Alge
Datum		8.3.	17.3.	4.5.	4.5.	1.6.	1.6.	8.4.	8.4.	1.6.	1.6.
XP	g/kg TS	199	198	220	234	205	201	179	176	193	201
XF	g/kg TS	43	59	54	60	41	37	49	47	42	44
XL	g/kg TS	24	26	26	26	26	26	27	26	25	26
Stärke	g/kg TS	443	462	377	369	438	445	438	438	447	437
Lys.	g/kg TS			14,0	15,27	10,9	13,6			10,4	11,2
				5		1	4			8	2
Met.	g/kg TS			3,83	4,2	3,48	3,47			2,86	2,98
Trp.	g/kg TS			2,53	2,62	1,88	2,72			2,48	1,92
Ca	g/kg TS			5,6	5,4	10,8	7,5			7,9	6,4
P	g/kg TS			5,9	6,1	6,4	5,9			5,1	5,3
ME	MJ/kg TS	14,8	14,4	14,5	14,4	14,9	15,1	14,6	14,6	14,9	14,8

Da die Futtermischungen über den Versuchszeitraum identisch waren, wurden die Analysen nicht über den gesamten Versuch weitergeführt. Für anschließende Kalkulationen mit den eingesetzten Rationen wurden die in Tabelle 6 berechneten mittleren laboranalytischen Nährstoff-, Mengenelement- und Energiegehalte zugrunde gelegt. Es sind deutliche Schwankungsbreiten in ausgewählten Gehalten zu verzeichnen, jedoch erscheinen die mit Algensuspension versetzten Rationen im Mittel eher einen nutritiven Mehrwert gegenüber den Kontrollrationen zu besitzen. Da dies jedoch nicht im Fokus der Versuchsanstellung der Praxisversuche lag, sollte darauf hier nicht weiter eingegangen werden.

Tabelle 6 Mittlere laboranalytische Ergebnisse ausgewählter Nährstoffe der eingesetzten Rationen

	Einheit	MW FAZ	MW FAZ+Alge	MW VM	MW VM+Alge
XP	g/kg TS	208,0	211,0	186,0	188,5
XF	g/kg TS	46,0	52,0	45,5	45,5
XL	g/kg TS	25,3	26,0	26,0	26,0
Stärke	g/kg TS	419,3	425,3	442,5	437,5
Lys.	g/kg TS	12,5	14,5	10,5	11,2
Met.	g/kg TS	3,7	3,8	2,9	3,0
Trp.	g/kg TS	2,2	2,7	2,5	1,9
Ca	g/kg TS	8,2	6,5	7,9	6,4
P	g/kg TS	6,2	6,0	5,1	5,3
ME	MJ/kg TS	14,7	14,6	14,8	14,7

3.2.3.3 Leistungsparameter – tägliche Zunahme

Einer der wichtigsten Leistungsparameter, mit hohem ökonomischem Optimierungspotential, ist die realisierte tägliche Zunahme. Anhand des vorliegenden Datensatzes können die in Tabelle 7 dargestellten Lage- und Streuungsparameter ermittelt werden. Es wird dabei

ersichtlich, dass mit Ausnahme des fünften Durchgangs die mit Algen supplementierte Versuchsgruppe höhere Tageszunahmen aufweisen als die Tiere der Kontrollgruppe. Im Gesamtergebnis lässt sich daraus eine mittlere Überlegenheit der Algengruppe von 28,4 g täglicher Zunahme berechnen. Dies entspricht einer Verbesserung von etwa 3,7%. Anhand der deutlich variierenden Standardabweichung kann eine gewisse Heterogenität der Tiere innerhalb der Versuchsgruppen ermittelt werden.

Tabelle 7 Mittlere tägliche Zunahme [g/Tag] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM) über die Versuchsdurchgänge

Versuch	MW Kontrolle [g/Tag]	s (±) Kontrolle [g/Tag]	MW Versuch [g/Tag]	s (±) Versuch [g/Tag]
1	806,5	50,8	855,0	99,0
2	754,2	93,0	762,0	120,0
3	796,6	75,2	820,2	82,0
4	802,4	107,2	820,2	82,0
5	768,8	86,4	732,2	156,4
6	680,6	98,2	794,4	110,2
Gesamt- ergebnis	766,9	86,3	795,3	108,6

Mit der anschließenden statistischen Auswertung konnte der Wachstumsvorteil der Algengruppe gegenüber der Kontrollgruppe bestätigt und abgesichert werden. Wie in Tabelle 8 ersichtlich, beträgt dieser Effekt etwa 29 g je Tag. Dies entspricht einer prozentualen Steigerung von 3,8 %. Auch für die Effekte Versuch und Versuchswoche lassen sich hoch- und höchstsignifikante Unterschiede ermitteln, welche übliche Durchgangs- und jahreszeitliche Effekte charakterisieren sowie die generelle Wachstumssteigerung mit zunehmendem Alter der Tiere.

Tabelle 8 Ergebnisse der untersuchten festen Effekte auf die tägliche Zunahme [g/Tag] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM)

	Schätzwert	SE	t Wert	p Wert	
Allgemeines Mittel (Intercept)	0.717228	0.023064	31.098	<0.001	***
Versuch	-0.011990	0.004130	-2.903	0.00389	**
Versuchswoche	0.032084	0.004607	6.965	<0.001	***
Algensupplementation	0.028777	0.012995	2.214	0.02733	*

3.2.3.4 Leistungsparameter – Futtermittelverwertung

Mit der Futtermittelverwertung konnte anhand der Wachstumsleistung und der zeitgleich verbrauchten Futtermenge ein weiteres wichtiges Merkmal effizienter und ressourcenschonender Schweinemast berechnet werden. Auch hier ergeben sich anhand der Rohmittelwerte und Standardabweichungen augenscheinliche Vorteile der Algen-Supplementations-Gruppe. Allein in Versuchsdurchgang 2 lässt sich dieser Trend nicht erkennen. Auch in diesem Merkmal sind relativ hohe Streubreiten zu verzeichnen, was erneut auf eine gewisse Heterogenität zwischen den Buchten hinweist. Numerisch lässt sich dieser Unterschied auf 0,12 kg Futter weniger je kg Zuwachs innerhalb der Algengruppe beziffern, was einer Verbesserung von knapp 5% entspricht.

Tabelle 9 Mittlere Futtermittelverwertung [kg Futter/kg Zuwachs] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM) über die Versuchsdurchgänge

Versuch	MW Kontrolle [kg Futter/kg]	s (±) Kontrolle [kg Futter/kg]	MW Versuch [kg Futter/kg]	s (±) Versuch [kg Futter/kg]
1	2,23	0,29	2,10	0,37
2	2,41	0,19	2,51	0,36
3	2,57	0,23	2,41	0,16
4	2,33	0,14	2,24	0,14
5	2,63	0,23	2,59	0,34
6	2,75	0,26	2,36	0,22
Gesamt- ergebnis	2,50	0,22	2,38	0,26

Der anzunehmende Unterschied kann auch anhand der statistischen Auswertung als Trend angenommen werden. Die starken Schwankungsbreiten zwischen den Buchten resultieren auch in einem recht hohen Schätzfehler von 0,061 bei einem Effekt von -0,099. Dies führt dazu, dass auch die Prüfwahl p mit 0,104 knapp über der Signifikanzschwelle liegt. Aufgrund des vorliegenden moderaten Stichprobenumfangs und der deutlichen Heterogenität in den Tiergruppen geht die OG von einem detektierten statistischen Trend aus. Die festgestellte Wirkung der Algensupplementation beträgt somit -0,10 kg Futter je kg Zuwachs und stellt somit eine Verbesserung von knapp 4 % zur Kontrollgruppe dar.

Tabelle 10 Ergebnisse der untersuchten festen Effekte auf die mittlere Futtermittelverwertung [kg Futter/kg Zuwachs] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM)

	Schätzwert	SE	t Wert	p Wert	(Boyle et al., 2022)
Allgemeines Mittel (Intercept)	1.32709	0.09784	13.563	<0.001	***
Versuch	0.04664	0.01819	2.564	0.011	*
Versuchswoche	0.33493	0.02191	15.287	<0.001	***
Algensupplementation	-0.09890	0.06063	-1.631	0.104	

3.2.3.5 Tierwohlintikator – Therapieindex

Bei der Verbesserung von Leistungs- und Effizienzkennzahlen einer optimierten Schweinemast unterliegt dem Betreuer der Tiere die wesentliche Aufgabe der Tierkontrolle. Diese bindet über 60% der Arbeitsleistung, welche in der Schweinemast veranschlagt werden muss (0,61 bis 1,2 Stunden je Mastplatz und Jahr). Innerhalb dieses Arbeitsbereiches nimmt die Tiergesundheitskontrolle die wichtigste Aufgabe ein. Fehler durch unterlassenes Handeln und Behandeln können dabei in den seltensten Fällen innerhalb des Mastdurchganges kompensiert werden. Zahlreiche Langzeitschäden und Folgeerkrankungen sind in der Literatur bekannt (Boyle et al., 2022; Obradovic et al., 2021). Aus diesem Grund steht die Durchführung einer notwendigen Behandlung im Gesamtinteresse des Tierhalters und kann somit als einer von geeigneten Indikatoren herangezogen werden. In der nachfolgenden Tabelle 11 stellt die Lage- und Streuungsparameter des Merkmals Therapieindex antibiotischer Behandlungen im Vergleich der Untersuchungsgruppen dar. Generell muss der Betrieb in dem betrachteten Mastabschnitt mit einer sehr geringen Therapieintensität der Menge der besten 25 % der

Betriebe zugeordnet werden. Der Medianwert im Jahr 2022 lag laut BMEL bei 0,207 [dimensionslos], das dritte Quartil bei 2,475 (BMEL, 2022). Bei den berechneten Mittelwerten der Versuchsgruppen ist eine deutliche Reduktion der Therapiehäufigkeit bei der mit Algenbiomasse supplementierten Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe in den Rohmittelwerten zu verzeichnen. Numerisch lässt sie sich auf 0,046 beziffern, was einer Verbesserung um ca. 62 % entspricht.

Tabelle 11 Therapieindex [dimensionslos] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM) über die Versuchsdurchgänge

Versuch	MW Kontrolle	s (±) Kontrolle	MW Versuch	s (±) Versuch
2	0,020	0,014	0,017	0,015
3	0,071	0,066	0,024	0,029
4	0,061	0,086	0,034	0,052
5	0,036	0,026	0,044	0,027
6	0,182	0,060	0,019	0,017
Gesamt- ergebnis	0,074	0,081	0,028	0,033

Die analytische Auswertung konnte diese Ergebnisse bestätigen, wie in Tabelle 12 ersichtlich. Dabei kann eine Höhe des positiven Einflusses von -0,0464 ermittelt werden und hochsignifikant gesichert werden. Damit kann dem Algenzusatz ein Verbesserungspotenzial von etwa 63 % zugeschrieben werden. Es wird also auch bei einer zukünftigen Anwendung der Algenbiomasse eine Halbierung des antibiotisch wirksamen Medikamenteneinsatzes erwartet. Dabei kann die Alge insbesondere eine stabilisierende Wirkung zu Beginn der Mastphase, bei der Umstellung des Haltungssystems und der Fütterung von der Ferkelaufzucht hin in den Mastbereich leisten. Induziert durch Stress, eine andere Mikroflora, andere mikroklimatische Bedingungen und gegebenenfalls auch Umgruppierungen, kommen infektiöse, respiratorische und metabolische Erkrankungen vornehmlich innerhalb dieses Umstellungsprozesses vor. Damit liegt das größte Potenzial, die Tiergesundheit über diese Zeit positiv zu beeinflussen auch in der Anfangsphase der Versuche sowie in den Wochen davor.

Tabelle 12 Ergebnisse der untersuchten festen Effekte auf den Therapieindex der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM)

	Schätzwert	SE	t Wert	p Wert	
Allgemeines Mittel (Intercept)	0.019273	0.032152	0.599	0.55182	
Versuch	0.015740	0.005970	2.636	0.01139	*
Versuchswoche	-0.002768	0.005970	-0.464	0.64505	
Algensupplementation	-0.046403	0.016887	-2.748	0.00854	**

Da Erkrankungen zahlreiche sekundäre Beeinträchtigungen hervorrufen können, liegt hier auch das erhebliche ökonomische Optimierungspotenzial begründet. Ebenso kann durch die erlangten Ergebnisse von einem signifikanten Beitrag der Mikroalge zur Verbesserung von Tierwohl und verbesserter ökologischer Effizienz ausgegangen werden.

3.2.3.6 Tierwohllindikator – Tierentnahmen

Eine der obersten Maximen in der Schweinemast ist es, eine möglichst einheitliche Tiergruppe optimal und effizient durch die entsprechenden Mastphasen zu managen und letztlich die ausgemästeten Tiere vermarktungsfähig und homogen dem Schlachtprozess zuzuführen. Totalverluste während der Mast haben dabei ein erhebliches Potenzial den Gewinn je Mastschwein zu mindern. Während Verluste zu Beginn der Mast wertvolle Tierplätze über den jeweiligen Durchgang bei annähernd gleichen Energie- und Arbeitskosten ungenutzt lassen, haben Tiere, die zu einem späteren Zeitpunkt abgehen, bereits erhebliche Mengen an Betriebsmitteln, wie Futter, Wasser und Medikamenten gebunden, die gänzlich ungenutzt bleiben. Aus diesen Gründen sind Tierentnahmen aus betrieblicher Sicht dringend zu vermeiden und dienen wiederum als sehr valider Indikator für die Bewertung als Tierwohllindikator. Die Validität des Indikators ist jedoch auch dadurch gegeben, da nicht behandelte, jedoch kranke Tiere, Schwanz- oder Ohrbeißer ein erhebliches Risiko für die gesamte Gruppe darstellen. Diese Tierentnahmen zur Behandlung und Regeneration kranker Tiere sowie deren eventuelle Rückführung in die Gruppe binden einen erheblichen personellen Mehraufwand. Damit einhergehendes Ziel ist immer die Minimierung von Tierentnahmen. Das Niveau von Tierverlusten inklusive aller Tierentnahmen, welche gegebenenfalls weiterhin bis zum Mastendgewicht im Betrieb verbleiben können, liegt im Versuchsbetrieb in einem sehr guten Bereich von unter einem Prozent. Aktuelle Zielwerte die in einem Expertenkonsortium zusammengetragen setzen die Grenze des Zielwertes bei < 1,5 % (Schrader, 2016). Mit den Ergebnissen der deskriptiven Statistik lassen sich in Tabelle 13 die deutlichen Unterschiede zwischen Kontrollgruppe und der um ca. 45% reduzierten Versuchsgruppe, in absoluten Zahlen -0,38 Prozentpunkte erkennen. Die Varianz der Verbesserung der Tierentnahmen zwischen den einzelnen Versuchsdurchgängen schwankt dabei noch stärker von 0% (Versuch 5) bis zu 83% (Versuch 3).

Tabelle 13 Tierentnahmen [%] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM) über die Versuchsdurchgänge

<i>Versuch</i>	<i>MW Kontrolle [%]</i>	<i>s (±) Kontrolle [%]</i>	<i>MW Versuch [%]</i>	<i>s (±) Versuch [%]</i>
2	0,74	0,51	0,61	0,65
3	0,83	0,62	0,14	0,28
4	0,88	0,61	0,71	0,63
5	0,49	0,31	0,49	0,42
6	1,33	0,41	0,38	0,31
Gesamt- ergebnis	0,85	0,58	0,47	0,52

Die mathematisch statistischen Ergebnisse des Indikators Tierentnahme sind in der nachfolgenden Tabelle 14 dargestellt. Während die Effekte der unterschiedlichen Versuchsdurchgänge und Versuchswochen aufgrund der hohen Schwankungsbreiten der einzelnen Buchten nicht statistisch zu sichern sind, kann der Algensupplementation eine abgesicherte reduzierende Wirkung von 0,39 Prozentpunkten zugeschrieben werden. Dies entspricht einem zu erwartenden Reduktionspotenzial von 45,4 %.

Tabelle 14 Ergebnisse der untersuchten festen Effekte auf die Tierentnahmen [%] der Untersuchungsgruppen im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM)

	Schätzwert	SE	t Wert	p Wert	
Allgemeines Mittel (Intercept)	0.733072	0.307698	2.382	0.0214	*
Versuch	0.035850	0.057138	0.627	0.5335	
Versuchswoche	-0.007345	0.057138	-0.129	0.8983	
Algensupplementation	-0.386020	0.161611	-2.389	0.0211	*

Mit diesen Ergebnissen wird die Hypothese einer prä- und probiotischen Wirkung der Mikroalge bekräftigt. Die Supplementierung kann damit entscheidend zur Verbesserung der Tiergerechtheit sowie der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit der Schweinemast beitragen.

3.2.3.7 Nachhaltigkeitsindikator – Stickstoff-Effizienz

Um die Auswirkung der Algensupplementierung auf die ökologische Nachhaltigkeit tiefer zu untersuchen, erfolgte die Berechnung der Stickstoff-Nutzungseffizienz des Futter-N. Dazu wurden die Gesamtgewichte aller Tiere in den unterschiedlichen Versuchswochen bilanziert sowie die verbrauchte Futtermenge quantifiziert. Durch die in Tabelle 6 dargestellten mittleren Rohproteingehalte der unterschiedlichen Rationen dividiert durch den reziproken mittleren N-Gehalt des Rohproteins von 6,25 (16% N in XP) konnten die eingesetzten Futter-Stickstoff-Mengen berechnet werden. Der Stickstoffgehalt im Proteinansatz der Schweine wurde mit 25,6 g je kg Zuwachs berücksichtigt (DLG, 2019).

Die Ergebnisse der berechneten Stickstoff-Effizienz sind im zeitlichen Verlauf der Versuchswochen über alle Versuche hinweg in Tabelle 15 zu sehen. Erwartungsgemäß sinken die N-Effizienzen mit zunehmendem Alter. Auch an diesem Merkmal zeigt sich, dass der Betrieb auf einem sehr hohen Niveau Mastschweinehaltung betreibt. Die ermittelte N-Effizienz der Algengruppe im Gewichtsabschnitt von ca. 25 bis 50 kg Lebendmasse liegt mit 33,3 % genau um zwei Prozentpunkte über jener der Kontrollgruppe.

Tabelle 15 Ergebnisse der Stickstoff-Effizienz [%] im betrachteten Mastabschnitt (ca. 25 - 50 kg LM)

Woche	Gruppe	Ges.gewicht /Zuwachs [kg]	Futter- einsatz [kg]	Futter-N [kg]	N-Ansatz [kg]	N-Effizienz [%]
0	Kontrolle	40453				
0	Versuch	38438				
1	Kontrolle	47750	14946	437,7	186,8	42,7
1	Versuch	45833	13773	409,2	189,3	46,3
2	Kontrolle	59041	20449	567,2	289,0	51,0
2	Versuch	57705	20566	578,6	303,9	52,5
3	Kontrolle	69970	25221	660,5	279,8	42,4
3	Versuch	67673	24715	656,0	255,2	38,9
4	Kontrolle	79665	29002	759,5	248,2	32,7
4	Versuch	78280	27939	741,5	271,5	36,6
5	Kontrolle	87760	32166	842,4	207,2	24,6
5	Versuch	87697	31375	832,7	241,1	28,9
Gesamt	Kontrolle	40010	121785	3267,4	1024,2	31,3
Gesamt	Versuch	41863	118369	3218,0	1071,7	33,3

Die Beiträge der in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Zusammenhänge der Algenwirkung fließen dabei als Ursachen zu diesem Ergebnis ein. So tragen sowohl die verbesserte Futterverwertung, die erhöhten Tageszunahmen, aber auch die reduzierten Tierverluste und das geringere Krankheitsgeschehen zur Effizienzsteigerung bei.

Dies hat im Zusammenhang mit Optimierungsstrategien der Stickstoffverwertung in der Schweinemast sowie bei der Vermeidung von N-Überschüssen aus den Haltungssystemen einen wesentlichen Einfluss auf die ökologische Nachhaltigkeit der Schweinefleischerzeugung. Ebenso haben die eingesetzten Proteinfuttermittel ein erhebliches Preisgefüge und verteuern somit die eingesetzten Rationen. Mit einer verbesserten N-Nutzungseffizienz kann somit auch ein signifikanter Beitrag zur Optimierung der ökonomischen Nachhaltigkeit des Unternehmens geleistet werden.

3.2.3.8 Stallklima & Schadgaskonzentration

Durch die in Vorversuch 2 beschafften Umweltsensoren konnte eine Verlaufskurve der Tagesmittelwerte analysiert werden. Exemplarisch soll dies an der Verlaufskurve des Vorversuchs 2 in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt werden (Abbildung 15 - Abbildung 23). Einige verbindlich in der Tierschutz-Nutztierhaltungs-Verordnung geregelte gesetzliche Grenzwerte dazu sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16 Maximale Schadgaskonzentrationen geregelt in der TierSchNutzVO

Gas	Max. Konzentration im Tierbereich	
Ammoniak (NH ₃)	20	Ppm
Kohlendioxid (CO ₂)	3.000	ppm
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	5	ppm

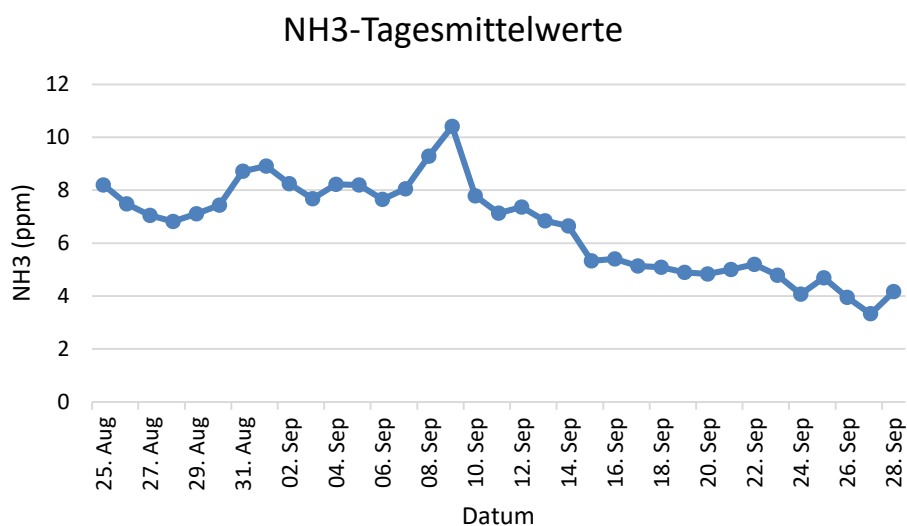


Abbildung 15 NH₃-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021

CO₂-Tagesmittelwerte

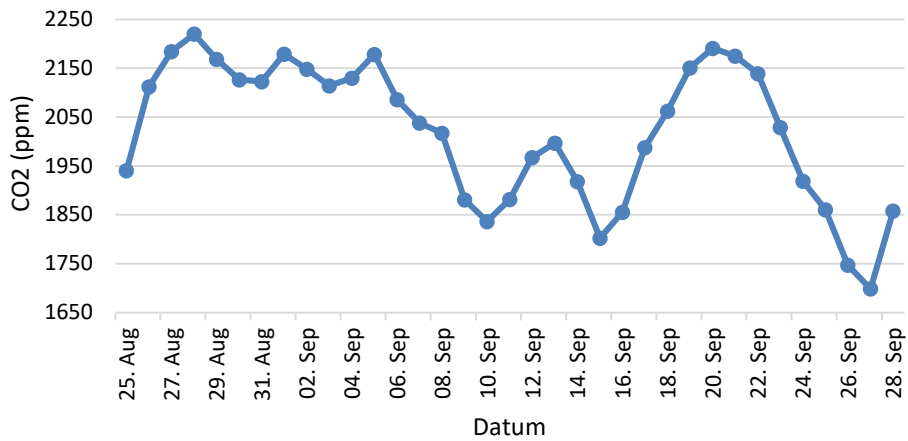


Abbildung 16 CO₂-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021

H₂S-Tagesmittelwerte

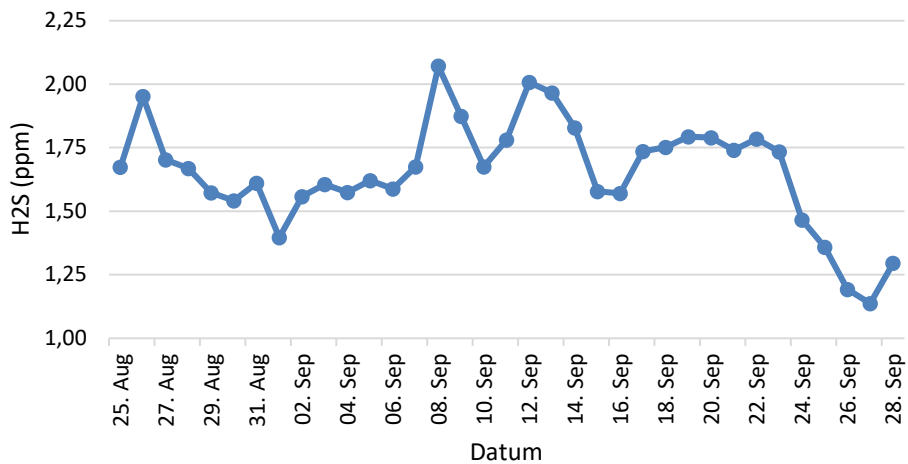


Abbildung 17 H₂S-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021

Temperatur & rF-Tagesmittelwerte

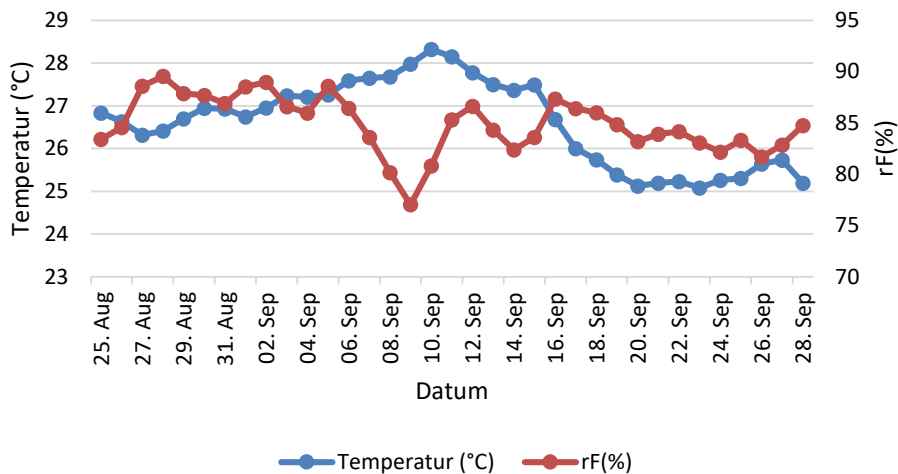


Abbildung 18 Temperatur und relative Feuchte-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021

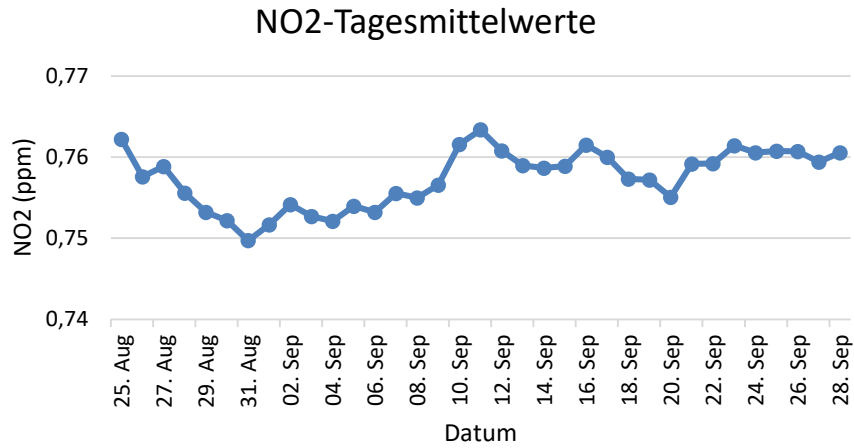


Abbildung 19 NO₂-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021

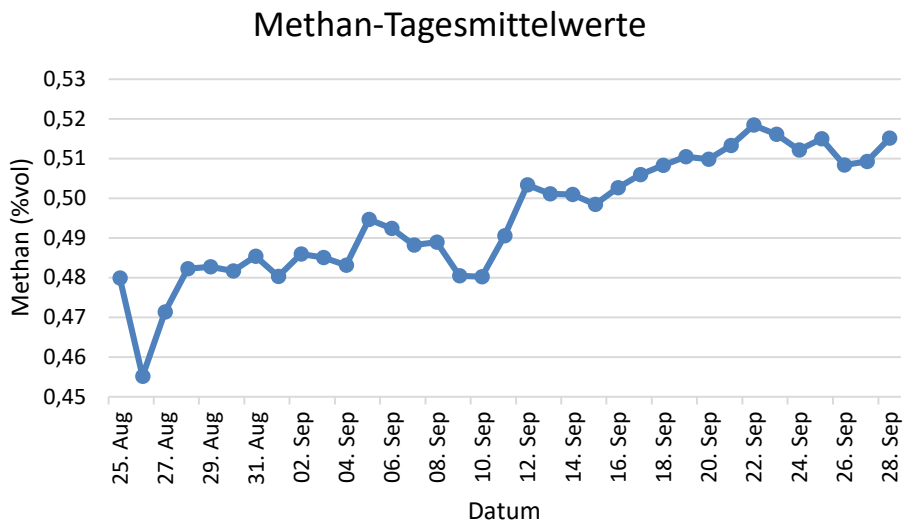


Abbildung 20 Methan-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021

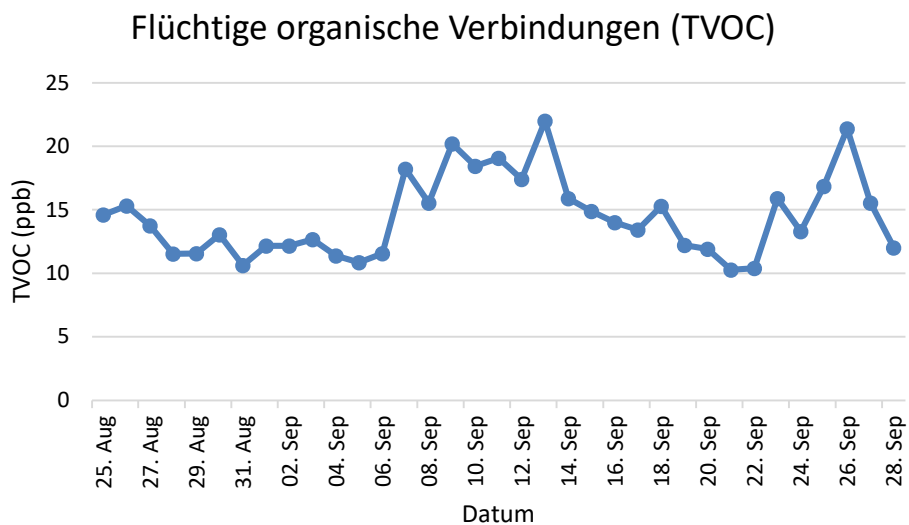


Abbildung 21 TVOC-Tagesmittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021

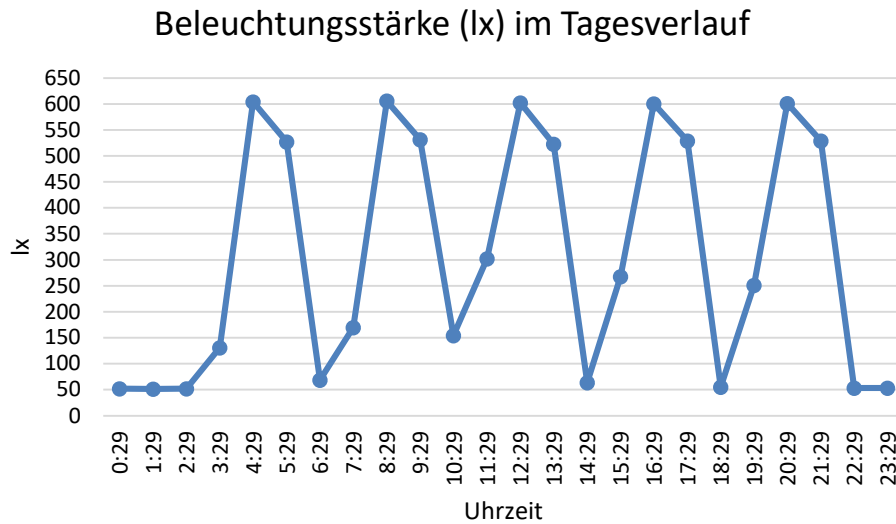


Abbildung 22 Beleuchtungsstärke (lx) im Tagesverlauf (Mittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021)

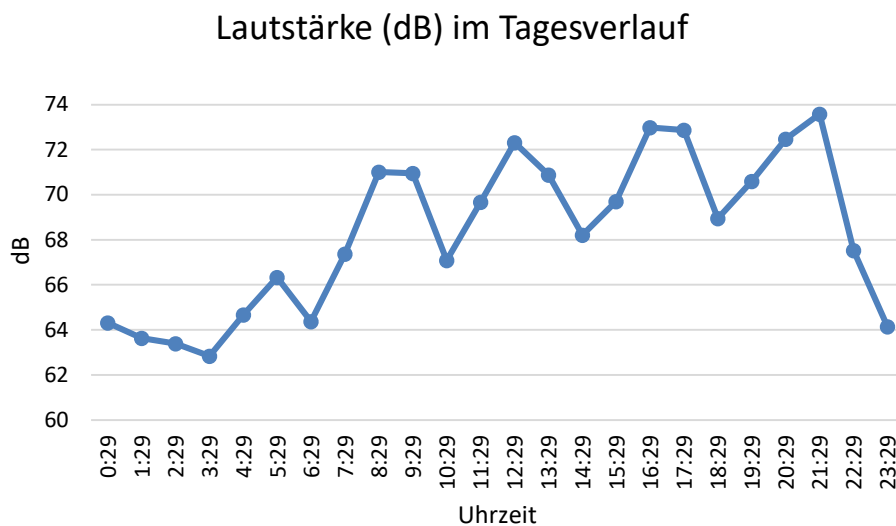


Abbildung 23 Lautstärke (dB) im Tagesverlauf (Mittelwerte im Versuchszeitraum 25.08-28.09.2021)

Als Ergebnisse der erlangten Sensordaten kann bestätigt werden, dass die Kenntnis über die Verläufe der unterschiedlichen Merkmale ein sehr hilfreiches Controllinginstrument darstellt. Dies hilft auf sich ändernde Bedingungen schnell zu reagieren. Kritisch zu sehen ist jedoch die Zuverlässigkeit der Geräte. So kam es mehrfach zum technischen Ausstieg der Geräte. Aus diesem Grund standen lediglich für einen Versuch Vergleichsdaten aus beiden Gruppen zur Verfügung. Außerdem waren die Messwerte gelegentlich um eine Zehnerpotenz zu hoch. Für einen zuverlässigen Einsatz muss eine Technologie gefunden werden, die validere Daten liefert und unter den gegebenen Stallbedingungen noch stabiler läuft. Der jetzige Datensatz des Anbieters ergibt eine gute Einschätzung zur Beurteilung von Indikatoren des Tierwohls. Für die Bewertung des Emissionsgeschehens und der ökologischen Nachhaltigkeit müsste die Lufttauschrate in den Abteilen zusätzlich herangezogen werden. In den dargestellten Beispieldaten wird ersichtlich, dass die in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung geforderten Grenzwerte auf dem Betrieb sehr gut eingehalten werden und meist deutlich darunter liegen. Bei weniger günstigen Werten und zur sachgemäßen Bewertung, müssten auch die Lufttauschraten in den Abteilen als

Hilfsmerkmal integriert werden. Bei der Auswahl und dem Einsatz von Umweltsensoren in der Mast Schweinehaltung gibt es dementsprechend noch Klärungsbedarf. Insbesondere zur Anzahl und Positionierung der Geräte im Stall, da Schadgaskonzentrationen, verfügbare Lichtstärke und Temperatur in Tierhöhe zu messen sind, jedoch damit auch stark von den stallbaulichen Gegebenheiten abhängen.

3.2.4 Nachweis der Kostensenkung durch die vor-Ort-Produktion der Mikroalgen

Im Rahmen des Projektes wurden drei Versuchsreihen mit tiefgekühlter Algenbiomasse in den Wintermonaten und drei Versuchsreihen mit frischer Algenbiomasse direkt aus dem PBR in den Sommermonaten realisiert. Gegenstand des Projektes war es auch, die wirtschaftlichen Effekte einer Algensupplementation zu ermitteln. Hierbei sollte auch eruiert werden, wie sich die direkte Kultivierung und Verfütterung von Mikroalgen unter Nutzung von Synergismen vor Ort gegenüber der Verwendung von zugekaufter Algenfrischmasse, so verfügbar, hier einordnen lässt.

Die Kostenanteile der Versuche mit eingekaufter Tiefkühlware ergaben sich aus dem mittleren Marktpreis für den Mikroalgenlurry (60 €/kg_{TM}) sowie den Personal-, Lager und Transportkosten. Daraus ergab sich ein finanzieller Mehraufwand über den gesamten Vormastzeitraum von 7 – 7,50 € pro Tier.

Die Kosten für den Einsatz der vor Ort produzierten Algenbiomasse setzten sich aus den Kosten für die Inokulatbeschaffung, den Betriebskosten (Energie, Wasser, Nährsalze, CO₂) und den Investitions- alternativ Mietkosten für den PBR zusammen. Auch hier sind die Personalkosten für die Anlagenbedienung berücksichtigt (ca. 1 h Betreuungsaufwand pro Tag). Der daraus resultierende finanzielle Mehraufwand liegt zwischen 3,5 - 4 € pro Tier und ist somit bedeutend niedriger als bei Zukauf der Algenbiomasse.

3.3 Nebenergebnisse des Projektes

3.3.1 Vor-Ort-Kultivierung der Mikroalgen

Das Projekt hat zu neuen Erkenntnissen zur Kultivierung im landwirtschaftlichen Umfeld unter Praxisbedingungen beigetragen.

Durch die Nutzung von gechlortem Prozesswasser und die hohe mikrobielle sowie Staub- und Pollenbelastung der Umgebungsluft war die Algensuspension permanent potenziellen Stressfaktoren ausgesetzt. Es hat sich gezeigt, dass geringe Konzentrationen an Hypochlorid im Prozesswasser toleriert werden bzw. eine potenzielle Schädigung der Kultur durch Modifikation der Verfahrensführung vermieden werden kann. Eine mixotrophe Kultivierung ließ sich unter den projektspezifischen Bedingungen nicht realisieren, es wurden aber Erkenntnisse gewonnen, die dieses generell ermöglichen werden.

3.3.2 Berücksichtigung der Tiergewichte bei der statistischen Analyse

Eine Standardisierung des Merkmals Zunahme auf das Anfangsgewicht der Mastläufer brachte in Bezug auf die Algensupplementation keinen Mehrwert in der Eindeutigkeit der Projektergebnisse. Demzufolge wurden die erlangten positiven Effekte nicht oder nur sehr gering von der Heterogenität der Tiergewichte beeinflusst.

3.3.3 Prüfung auf Wechselwirkungen

In allen untersuchten Merkmalen konnten keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen den beeinflussenden festen Effekten Versuch, Versuchswoche und der Algensupplementation gesichert werden. In einigen Merkmalen hätten diese zwar vermutet werden können, jedoch könnten auch hier die Schwankungsbreiten der Merkmale das Nicht-Erreichen der Signifikanzschwelle bewirkt haben.

3.3.4 Prüfung der Art der Algensupplementation

Durch die Verzögerungen in der Beschaffung und beim Aufbau des PBRs wurde als Zwischenlösung tiefgekühlte Mikroalgensuspension verfüttert. Der Unterschied zur frischen Algensuspension bildete eine etwas höhere Endkonzentration im Futter und eine geringere Konzentration an Mediumbestandteilen und mikrobieller Begleitflora.

Die Art der Algensupplementierung in Form vorher tiefgefrorener Frischmasse oder durch Beimischung der originären Algensuspension erbrachte keinen statistisch zu sichernden Unterschied. Dieses Ergebnis konnte über alle untersuchten Merkmale hinweg bestätigt werden.

Der Mehrwert von in der Suspension befindlicher gelöster Inhaltsstoffe hat damit keinen wesentlichen Effekt auf die Merkmalsausprägung. Ein dahingehender Einfluss muss durch andere Versuchsanstellungen geklärt werden. Der Unterschied zu getrockneten Algen wird jedoch in beiden Varianten als deutlich höher eingestuft, da die thermische Behandlung Einflüsse auf die nutritiven sowie prä- und probiotisch wirkenden Inhaltsstoffe haben wird.

3.3.5 Langzeiteffekt der Algensupplementation

Eine weitere Beobachtung im Kontext der Algenfütterung war der langanhaltende Effekt. Auch in der Hauptmast wurde eine Mehrzunahme und ruhigeres Verhalten der Algengruppe beobachtet, obwohl keine Algen mehr gefüttert wurden. Diese Erkenntnis ist für die Konzeption potenzieller Folgeversuche wichtig. Dadurch könnte der Einsatz der Mikroalgen auf einen kürzeren Zeitraum beschränkt und die eingesetzte Algenmenge optimiert werden.

Um größere Kohorten mit Algen zu versorgen, ist auch eine größere Menge an Mikroalgenbiomasse nötig. Dazu müsste der Photobioreaktor erweitert werden oder der Bedarf an Biomasse reduziert werden. Letzteres ist, auch im Hinblick auf die Wirkung der Algenzugabe über den Fütterungszeitraum hinaus, einfacher umzusetzen. Hierzu sollte die Algenzugabe auf den Zeitraum der Entwöhnung gelegt und auf beispielsweise 2 Wochen festgelegt werden. Je jünger die Tiere bei der Algenfütterung sind, umso größer kann einerseits der erzielte Effekt sein und umso weniger Algenbiomasse wird andererseits benötigt, da das generelle Futtervolumen in diesem Alter geringer ist. Zu dieser These sollten in Zukunft weitere Forschungen angestrebt werden.

3.3.6 Szenarien-Berechnungen zur Preiswürdigkeit der Algen sowie zur Ermittlung eines Grenzpreises der Algensupplementation

Neben den im vorangegangenen Kapitel erlangten Ergebnissen konnten weitere wichtige Nebenergebnisse durch das Projekt ermittelt werden. Sowohl die landwirtschaftliche Praxis, administrative Entscheidungsträger als auch die Projektbeteiligten strebten nach einer Aussage zu der Preiswürdigkeit der Algensupplementation sowie den ökonomischen Auswirkungen der festgestellten positiven Effekte, wie Leistungssteigerung, Effektivierung der Ressourcennutzung und Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit. Dazu lassen

sich bereits in der Literatur einige Angaben finden. Eine Zusammenfassung für die Grenznutzen-Betrachtung ist in der tabellarischen Darstellung der LfL Information zur Futterberechnung der Schweine zu finden. Die Merkmale mit Bezug zur hier durchgeführten Versuchsanstellung sind in Tabelle 17 dargestellt. Dabei wird ersichtlich, wie groß der ökonomische Einfluss der Merkmale Tageszunahme, Tierverluste, Futtermittelverwertung und Futterkosten für den Unternehmenserfolg sind. Die Bedeutung einer Effektivierung in diesen Merkmalen lässt sich insbesondere über die Potenzierung der Effekte durch die Tierzahl erkennen. So werden bei dem Projektpartner Agraset jährlich über 16.000 Mastschweine gehalten. Dies kann für den Betrieb, mit den in 2.2 ermittelten um 29 g erhöhten täglichen Zunahmen bereits einen Grenznutzen von ca. bis zu 28.500 € bedeuten.

Tabelle 17 Grenznutzen bei einer Veränderung der wichtigsten Einflussfaktoren (Quelle: LfL-Information zur Futterberechnung der Schweine, 27. Auflage, August 2022)

Einflussfaktoren	Grenznutzen	
+ 100 g Tageszunahme	-	0,13 – 0,15 kg Futteraufwand
	+	0,32 – 0,33 Umtriebe/Mastplatz und Jahr
	-	0,03 – 0,04 € Futterkosten je kg Zuwachs
	+	2,80 bis 3,30 € je Mastschwein
	+	14,90 – 17,60 € je Mastplatz
- 1 % Totalverlust	+	1,10 – 1,20 € je Mastschwein
	+	2,90 – 3,50 € je Mastplatz
- 0,10 Futtermittelverwertung	-	0,024 € Futterkosten je kg Zuwachs
	+	2,10 – 2,20 € je Mastschwein
	+	5,60 – 6,20 € je Mastplatz
- 1 €/dt Futtermischung	-	0,03 € Futterkosten je kg Zuwachs
	+	2,50 – 2,70 € je Mastschwein
	+	7,10 – 7,30 € je Mastplatz

Da bei den in Tabelle 17 dargestellten Grenznutzen auch eine deutliche Abhängigkeit der Futterkosten für die Rentabilität von Maßnahmen erkennbar ist, wurden durch das Projektteam die nachfolgenden Szenarien-Berechnungen durchgeführt. Der erste Block kalkulierter Szenarien widmet sich der Kosten der eingesetzten Algenbiomasse. Die im Tabellenkopf hinterlegten Kosten je Tier entstammen dabei einer Vollkostenrechnung des Projektpartners GICON, welche nachfolgend näher beschrieben werden.

Das Szenario, welches zum höchsten Kostenanteil der Algen führt, ist der Zukauf von frischer Algenbiomasse. Aufgrund des hohen Marktpreises von Mikroalgen und dem hohen Transport- und Lageraufwandes resultiert dies in einen Aufpreis von 7,5 €/Tier. Dieses Szenario geht davon aus, dass die Effekte der Algensupplementation nur im Zeitraum der Supplementation vorhanden sind. Das *best-case*-Szenario resultiert aus einer stark optimierten und automatisierten Algenproduktion vor Ort mit sehr geringem Personalaufwand. Hinzu kommt ein in der restlichen Mastphase noch messbarer Effekt der Algensupplementation. Hier wird mit 1,50 € Aufpreis pro Tier gerechnet. Ein mittleres Szenario für die Algensupplementation wurde mit 3,50 €/Tier eingeordnet.

Bei der Berechnung der Grenznutzen wird von einem Tierbestand von 1000 Tieren ausgegangen, welche entsprechend der Versuchsdurchführung 34 Tage mit der gleichen Menge an Algenbiomasse supplementiert wurden. Die Kosten für die Algenfütterung wurden dabei anteilig ihres Einsatzes auf den Preis des Ferkelaufzucht-Futters und des Vormast-Futters aufgeteilt. Durch die verbesserte Futtermittelverwertung der Algen-Versuchsgruppe konnte

auch in den Berechnungen ein geringerer Futteraufwand für die Mastphasen angenommen werden. Auch die Tageszunahmen wurden um den statistisch gesicherten Einfluss erhöht sowie die Tierverluste reduziert. Um bei gleichem Zielwert für die Mastendgewichte, hier von ca. 110 kg Lebendmasse, die höhere tägliche Zunahme abbilden zu können, wurden die Gesamt-Masttage entsprechend angepasst. Die Allgemeinkosten für den Betrieb der Stallabteile, die Stallplatzkosten, Arbeitskosten sowie die Monetarisierung der Tierverluste erfolgte mit aktuellen Realwerten des Versuchsbetriebes.

Zur Abschätzung des ökonomischen Gesamtpotenzials der Algensupplementierung wurden sowohl eine ‚Worst-Case-Szenario‘- als auch eine ‚Best-Case-Szenario‘-Variante in die Kalkulation aufgenommen. Die ‚Worst-Case-Szenarien‘ (gekennzeichnet durch *) repräsentieren die Annahme, dass sich die positiven Effekte der Alge über die weitere Mastdauer nivellieren und nur für den in der Versuchsphase abgebildeten Zeitraum berücksichtigt werden können. Dies resultiert in der Berechnung in einer täglichen Zunahme von 1100 g für die Algengruppen und einer Tierentnahme von 0,73 % über alle Gruppen hinweg. Bei den ‚Best-Case-Szenarien‘ (gekennzeichnet durch **) geht die Projektgruppe davon aus, dass sich die positiven Effekte auch über die Zeitspanne der Versuchsphase hinweg in der Endmast verstetigen. Dies wird mit einer täglichen Zunahme von 1150 g und einer Tierentnahmerate von 0,5 % berücksichtigt. Diese Annahme scheint aufgrund der subjektiven Wahrnehmung der im Versuchsbetrieb mit der Tierhaltung beauftragten Personen und der innerbetrieblichen Auswertungen das wahrscheinlichere Szenario zu sein, ohne dies mathematisch statistisch absichern zu können. Jedoch konnten sehr homogen wachsende Tiergruppen mit verbessertem Gesundheitsstatus auch in der Endmast beschrieben werden.

Eine weitere Annahme bezüglich der Algensupplementation ist die Herabsetzung der Arbeitszeit durch die verbesserte Tiergesundheit und folglich einem geringeren Aufwand für Tierbeobachtungen, einem geringeren Behandlungsaufwand sowie weniger Tierentnahmen, Umgruppierungen und Rückführungen. Die hier veranschlagten Einsparungen von 5 bis 7 % der Arbeitszeit, sind wiederum als minimaler Ausgangswert zu sehen. Das Potenzial für die Schweinemast dürfte mehrheitlich deutlich höher liegen, nimmt man die Faustzahlen aus Abbildung 24 zur Grundlage (Brüggemann et al., 2019).

Arbeitszeit gesamt in Std./Mastplatz und Jahr

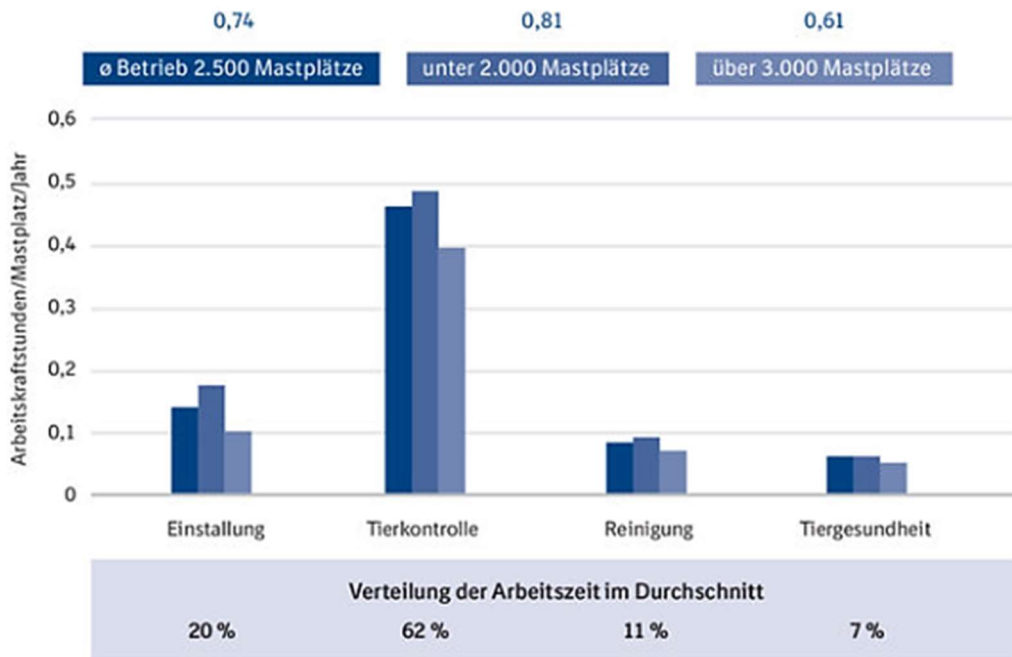


Abbildung 24 Verteilung des jährlichen Arbeitskraftbedarfs in Abhängigkeit der Bestandesgröße [h/Mastplatz und Jahr] (Brüggemann et al., 2019)

Die Kosten für die Güllelagerung, -behandlung und den -transport werden in der Berechnung konstant mit 0 € angenommen. Durch die innerbetrieblich beschickte Biogasanlage geht die Betriebsleitung eher von einem Gewinn aus der Gülleveredelung der Schweinemast aus, als dass sich die Kosten nicht amortisierten.

Die Ergebnisse der unterschiedlichen Szenario-Berechnungen sowie die Kontrollgruppe als Vergleichsbasis zur Ausgangssituation sind nachfolgend in Tabelle 18 dargestellt. Diese Kostenszenarien wurden im Rahmen des Vorhabens errechnet und dienen nicht als Kalkulationsbasis für tatsächlich im Projekt angefallene Kosten. Die während der Projektrealisierung anfallenden realen Aufwendungen sind, wie für Forschungsvorhaben üblich, wesentlich höher und erlaubten in dieser Form keinen Gewinn.

Tabelle 18 Szenarien-Rechnungen für die Algenwirkung im Praxisbetrieb anhand der im Versuch erlangten Ergebnisse sowie der Vollkostenrechnung für die Algensupplementation

	Einheit	Kontrolle	S1 + Alge (7,50€)*	S2 + Alge (7,50€)**	S3 + Alge (3,50€)*	S4 + Alge (1,50€)*	S5 + Alge (1,50€)**
Tierzahl		1000	1000	1000	1000	1000	1000
Dauer	d	35	34	34	34	34	34
Masttage ges.	d	116	111	108	111	111	108
Kosten							
Algensuppl.	€/Tier	0,00	7,50	7,50	3,50	1,50	1,50
Läuferzukauf	€/Tier	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Futtermittelverbrauch	kg/Tier	63	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3
Preis FAZ-Fu.	€/kg	0,50	0,63	0,63	0,56	0,53	0,53
Menge FAZ-Fu.	kg	15,8	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
Kosten FAZ-Fu.	€/Tier	7,88	9,16	9,16	8,16	7,66	7,66
Preis VM-Fu.	€/kg	0,38	0,51	0,51	0,44	0,41	0,41
Menge VM-Fu.	kg	47,3	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7
Kosten VM-Fu.	€/Tier	17,96	22,24	22,24	19,24	17,74	17,74
Preis EM-Fu.	€/kg	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Menge EM-Fu.	kg	230	215	215	215	215	215
Kosten EM-Fu.	€/Tier	75,90	70,95	70,95	70,95	70,95	70,95
Futterkosten	€	101730,00	102359,26	102359,26	98359,26	96359,26	96359,26
TZN VM	g/Tier	717	746	746	746	746	746
Zunahme VM	kg/Tier	25,1	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4
Tierentnahme VM	%	0,73	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Schlachtpreis [Hkl. E]	€/kgSG	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
TZN EM	g/Tier	1050	1100	1150	1100	1100	1150
Zunahme EM	kg/Tier	85,1	84,7	84,7	84,7	84,7	85,1
Tierentnahme EM	%	0,73	0,73	0,5	0,73	0,73	0,5
Schlachtpreis [Hkl. E]	€/kg SG	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
Mastendgewicht	kg/Tier	110,1	110,1	110,1	110,1	110,1	110,5
Gesamterlös	€	173196,05	173225,37	174164,38	173225,37	173225,37	174164,38
Allgemeinkosten	€	7000,00	7000,00	7000,00	7000,00	7000,00	7000,00
Stallplatz	€	13500,00	13500,00	13500,00	13500,00	13500,00	13500,00
Arbeitskraft ***	€	10300,00	9785,00	9579,00	9785,00	9785,00	9579,00
Tierverluste	€	433,44	317,66	249,38	317,66	317,66	249,38
Gülle ****	€	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewinn	€	40232,61	40263,46	41476,75	44263,46	46263,46	47476,75
	€		30,84	1244,14	4030,84	6030,84	7244,14
Gewinn je Tier	€		0,03	1,24	4,03	6,03	7,24

Werte in **blau** sind direkt aus den Versuchsergebnissen übernommen, **rote** Werte gelten als Hauptannahmen und -Ergebnisse

* 'Worst-Case-Szenarien' (die Leistungsdaten und Tierentnahmen nivellieren sich in der Endmast)

** 'Best-Base-Szenarien' (die Leistungsdaten und Tierentnahmen sind durch die ganze Mastphase von der Algensupplementation positiv beeinflusst)

*** Annahme eines um 5 - 7 % reduzierten Arbeitszeitbedarfes je Mastschwein durch die Algenfütterung

**** durch die weitere Wertschöpfung in der Biogasanlage werden keine Kosten angenommen

Der wesentliche Unterschied zwischen den Szenarien S1 & S2, S3 sowie S4 & S5 sind die Kosten für die Algensupplementation je Tier für den betrachteten Zeitraum. Dies hat zur Folge, dass sich auch die Preise für das Ferkelaufzucht-Futter und das Vormast-Futter anteilig verteuern. In Relation zur zeitgleich geringeren Futtermenge, resultierend aus einer besseren Futtermittelnutzung, zeigt sich in S4 & S5 bereits ein Kostenvorteil für Kosten-FAZ-Futter (7,66 vs. 7,88 €/Tier) und Kosten-VM-Futter (17,74 vs. 17,96 €/Tier). Nur bei Kosten für die Zufütterung der Mikroalge von 7,50 € (S1 & S2) liegen die Gesamt-Futterkosten der gesamten Schweinemast über denen der Kontrollgruppe. In den anderen Szenarien werden die Zusatzkosten der Alge durch die verbesserte Futtermittelnutzung kompensiert.

Durch die höheren Tageszunahmen in der Vor- und Endmast, würde das angestrebte Mastendgewicht bereits eher erreicht als in der Kontrollgruppe. Sollte sich der Effekt auch in der Endmast verstetigen und dort 1150 g TZN erreicht werden – was der Beobachtung der Tierbetreuer entspricht – könnte die Mastdauer um 8 Tage reduziert werden, bei 1100 g vs. 1050 g TZN (Kontrolle) sind es 5 eingesparte Masttage. Dieses Ergebnis muss im Kontext der betrieblichen Gegebenheiten diskutiert werden. Bei Betrieben, welche einen kompletten Läuferzukauf betreiben, können damit auch die Durchgänge je Jahr erhöht werden. Im vorliegenden Fall erfolgen jedoch Ferkelerzeugung und Ferkelaufzucht im geschlossenen System mit festem Rhythmus. Damit würden sich bei Ausdehnung der Serviceperiode lediglich die Allgemein- und Arbeitskosten je Mastschwein reduzieren.

Die spezifischen Betriebskosten Arbeitskosten und Kosten durch Tierverluste reagieren ebenso auf den herabgesetzten Arbeitszeitbedarf gesünderer Tiere sowie der geringeren Verlustrate. Insbesondere die sinkenden Arbeitskosten tragen zu einem höheren Gewinn der Szenarien bei. Bereits für die schlechteste Annahme (S1), bei nicht anhaltenden Effekten und sehr hohem Algenpreis von 7,50 € je Tier kann eine Gewinnsteigerung von knapp 31 € ermittelt werden, was einem Mehrwert von 3 Cent je Tier entspricht. Halten die positiven Algeneffekte jedoch auch in der Endmastphase noch an, kann bereits ein Zusatzgewinn von 1,24 € je Tier erwirtschaftet werden. Kann zusätzlich noch ein optimaleres Verfahren zur Bereitstellung der Algenbiomasse verwendet werden, so steigt der potenzielle Zusatzgewinn auf bis zu 7244 € für die betrachteten 1000 Mastschweine respektive 7,24 € je Tier.

Bereits anhand der Annahmen in Szenario 1 lässt sich ein positiver Grenznutzen der Algensupplementierung berechnen. Für das Projektteam war es weiterhin wichtig, die Grenze der Preiswürdigkeit der Algen-Zufütterung zu ermitteln. Dazu wurde der Grenzpreis ermittelt, bis zu welchem sich ein Einsatz der Alge lohnt. Auch für diese Berechnungen wurde das bereits beschriebene ‚Worst-Case-Szenario‘ sowie das ‚Best-Case-Szenario‘, mit den jeweils beschriebenen Annahmen verwendet. Die Ergebnisse für die maximale Höhe der Algensupplementation sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19 Ermittlung des Grenzpreises für die Algensupplementation anhand der im Versuch erlangten Ergebnisse

	Einheit	Kontrolle	Ermittlung Grenzpreis*	Ermittlung Grenzpreis**	S1 + Alge (7,50€)*
Tierzahl		1000	1000	1000	1000
Dauer	d	35	34	34	34
Masttage ges.	d	116	111	108	111
Kosten Algensuppl.	€/Tier	0,00	7,53	8,74	7,50
Preis Läuferzukauf	€/ Läufer	80,00	80,00	80,00	80,00
Futtermverbrauch	kg/Tier	63	58,3	58,3	58,3
Preis FAZ-Futter	€/kg	0,50	0,62	0,65	0,63
Menge FAZ-Futter	kg	15,8	14,6	14,6	14,6
Kosten FAZ-Futter	€/Tier	7,88	9,04	9,42	9,16
Preis VM-Futter	€/kg	0,38	0,50	0,53	0,51
Menge VM-Futter	kg	47,3	43,7	43,7	43,7
Kosten VM-Futter	€/Tier	17,96	21,88	23,02	22,24
Preis EM-Futter	€/kg	0,33	0,33	0,33	0,33
Menge EM-Futter	kg	230	215	215	215
Kosten EM-Futter	€/Tier	75,90	70,95	70,95	70,95
Futterkosten	€	101730,00	102389,26	103397,26	102359,26
Tageszunahme VM	g/Tier	717	746	746	746
Zunahme VM	kg/Tier	25,1	25,4	25,4	25,4
Tierentnahme VM	%	0,73	0,34	0,34	0,34
Schlachtpreis [Hkl. E]	€/kg SG	1,98	1,98	1,98	1,98
Tageszunahme EM	g/Tier	1050	1100	1150	1100
Zunahme EM	kg/Tier	85,1	84,7	85,1	84,7
Tierentnahme EM	%	0,73	0,73	0,5	0,73
Schlachtpreis [Hkl. E]	€/kg SG	1,98	1,98	1,98	1,98
Mastendgewicht	kg/Tier	110,1	110,1	110,5	110,1
Gesamterlös	€	173196,05	173225,37	174164,38	173225,37
Allgemeinkosten	€	7000,00	7000,00	7000,00	7000,00
Stallplatz	€	13500,00	13500,00	13500,00	13500,00
Arbeitskraft ***	€	10300,00	9785,00	9579,00	9785,00
Tierverluste	€	433,44	317,66	249,38	317,66
Gülle ****	€	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewinn	€	40232,61	40233,46	40236,75	40263,46
	€		0,84	4,14	30,84
Gewinn je Tier	€		0,00	0,00	0,03

Werte in **blau** sind direkt aus den Versuchsergebnissen übernommen, **rote** Werte gelten als Haupt-Annahmen und -Ergebnisse

* 'Worst-Case-Szenarien' (die Leistungsdaten und Tierentnahmen nivellieren sich in der Endmast)

** 'Best-Case-Szenario' (die Leistungsdaten und Tierentnahmen sind durch die ganze Mastphase von der Algensupplementation positiv beeinflusst)

*** Annahme eines um 5 % reduzierten Arbeitszeitbedarfes je Mastschwein durch die Algenfütterung

**** durch die weitere Wertschöpfung in der Biogasanlage werden keine Kosten angenommen

Unter der Annahme abnehmender positiver Algeneffekte in der Endmastphase darf der Preis für die Algensupplementation maximal 7,53 € je Tier kosten. Dieser Wert liegt auch sehr eng

an dem Ausgangsszenario S1, bei welchem bereits ein positiver Gewinnzuwachs verzeichnen ließ. Im Fall der Annahmen des ‚Best-Case-Szenarios‘ mit anhaltend besserer Tageszunahme, geringerer Tierentnahme durch gesündere Tiere und damit einhergehend auch reduzierten Arbeitskosten und entgangenem Nutzen durch Tierverluste, dürfte die Algenzugabe sogar bis zu 8,74 € je Tier kosten. Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass selbst bei beträchtlichen Kosten für die zugesetzte Mikroalge, ein wesentlicher Nutzen für den Betrieb bestehen kann. Bei geringeren Verfahrenskosten für die Algenproduktion, welche in der Beschreibung der Szenarien bereits dargestellt wurden, kann das erhebliche Potenzial zur Gewinnsteigerung in der Schweinemast veranschaulicht werden.

Weitere positive Effekte durch noch größere Einsparungen des Arbeitszeitbedarfs, eine Erhöhung der Mastdurchgänge je Jahr, homogenere Partien bei der Vermarktung und bessere Eingruppierungen in die Handelsklassen sowie eine Reduzierung verworfener Organe und Teilstücke aufgrund des besseren Gesundheitsstatus, können zu einer weiteren Gewinnsteigerung führen.

4 Ergebnisverwertung

4.1 Nutzung der Ergebnisse in der Praxis

Die Nutzung von Algen als Futterzusatzstoff wurde noch nicht in die Praxis übernommen. Der Grund dafür ist der sehr hohe Bedarf an Algenbiomasse bei einer Ausweitung auf größere Vormast-Kohorten. Wie in 3.3 beschrieben müssen für einen wirtschaftlichen Einsatz von Mikroalgen im Schweinefutter noch Optimierungen in einigen Bereichen getroffen werden (Aufzuchtphase und Dauer der Zugabe, weitere Einbindung von Stoffkreisläufen zur Betriebskostenreduktion). Das Prinzip der Alge am Hof hat sich in den Versuchen jedoch beweisen können und ist mit individuellen Anpassungen praxisreif.

Durch die Versuchsanstellung war davon auszugehen, dass die Ergebnisse erst am Ende der Projektlaufzeit valide vorliegen. Außerdem muss geprüft werden, ob die gestellte Forschungsfrage die Wirkung der Alge hinreichend erklärt. Eine Reihe von weiterführenden zu prüfenden Hypothesen haben sich aus den hier vorliegenden Ergebnissen ergeben. Damit ergibt sich bereits jetzt ein veritabler Vorteil beim Einsatz der Alge in der Schweinehaltung, jedoch muss der effektivste Einsatz im richtigen Mastabschnitt noch final geklärt werden. Es konnten jedoch auch wichtige Nebenergebnisse erlangt werden, die weit über die initiale Fragestellung hinaus gehen. Dies führte dazu, dass bereits jetzt die Supplementierung von Mikroalgen in der Schweinefütterung ein Thema ist, was mit verschiedenen Partnern der Wertschöpfungskette diskutiert wird. Außerdem fließen bereits jetzt die Konzepte zur Abbildung unterschiedlicher Behandlungs- und Wachstumsszenarien in die Softwareprogrammierung mit ein.

Die Ergebnisse haben einen bedeutenden Mehrwert für die gesamte Schweinebranche. Dabei sind die ermittelten Effekte für alle Bereiche, die Sauenhaltung und Ferkelerzeugung, die Ferkelaufzucht und die Schweinemast von großem Interesse. Zwar sind nicht alle erlangten Ergebnisse direkt auf andere Bereiche übertragbar, jedoch tragen sie zum Beleg einer allgemeinen gesundheitsfördernden und damit leistungsstabilisierenden/-steigernden Wirkung der Algensupplementation bei. Die prä- und probiotische Wirkung vor Ort erzeugter Mikroalgen wäre auch eine denkbare Lösung zur Vermeidung der höheren Krankheitsinzidenzen bei Atemwegs- und Erkrankungen des Verdauungssystems von Ökoschweinen. Ebenso könnte der Einsatz in der Geflügelhaltung in den Fokus rücken, um auch dort den Antibiotikaeinsatz reduzieren und die Gesunderhaltung verbessern zu können. Damit einhergehend sind auch die verbesserte Umweltwirkung und ökologische Nachhaltigkeit ein mögliches Ziel bei Anwendung in diesem Bereich. Damit könnte letztendlich auch das Emissionsgeschehen in Bezug auf die erzeugte Produkteinheit innerhalb der Nutztierhaltung positiv beeinflusst werden.

Die Ergebnisse sind zudem über das Projekt hinaus für Tierzüchter interessant. Nicht nur in der professionellen Tierhaltung, wo vorrangig die Erkenntnis der höheren Leistung von Bedeutung ist, sondern auch in der Rassezucht können Algen im Futter zu positiven gesundheitlichen und damit wirtschaftlichen Effekten führen.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass die Kultivierung von Algen durch Landwirte möglich ist und die damit einhergehenden Synergismen sehr gut ausgeschöpft werden können. Dadurch ergibt sich die allgemeine Verfügbarkeit von Algen als Rohstoff in der Landwirtschaft. Die Anwendungsvielfalt der Algen geht weit über die Futtermittelergänzung hinaus. Vom Einsatz als Düngemittel bzw. zur Bodenverbesserung über die Aufreinigung von Stallabluft und Oberflächenwasser im gesamten Agrarbereich ist vieles möglich und kombinierbar. Auch eine Vermarktung der Algen als Nahrungsmittel ist möglich. Als essenziell für die

Wirtschaftlichkeit erweist sich aber die Existenz zentraler Betreuungseinrichtungen, die Inokulatproduktion und biologische Betreuung der Systeme per Dienstleistung übernehmen und damit den vor Ort anfallenden Betreuungsaufwand verringern und somit die Wirtschaftlichkeit weiter verbessern.

4.2 Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse

Die Verbreitung der Projektergebnisse wird in der operationellen Gruppe jeweils fachlich abgestimmt und vorbereitet und durch die Abteilung Öffentlichkeitsarbeit der GICON GmbH organisatorisch begleitet. Die Ergebnisse wurden und werden durch Vorträge und Präsentationen auf Fachmessen gezielt potenziellen Nutzern vorgestellt. Weiterhin sind Publikationen in entsprechenden Fachzeitschriften sowie die direkte Ansprache von Fachverbänden und Gremien vorgesehen. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse in renommierten, landwirtschaftsbezogenen Fachzeitschriften ist für Anfang 2023 geplant. Durch Pressemitteilungen in der Tagespresse wurde außerdem die Öffentlichkeit über das Projekt informiert und reges Interesse geweckt. Weitere Artikel in regionalen Zeitschriften sind geplant.

Folgende Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse und zur Bewerbung des Projektes sind bereits erfolgt:

- Projektvorstellung des Projektes Rahmen des Innovationsforums des EIP Agri auf der Agra-Messe 2022 in Leipzig durch Fodjan und GICON; Vortrag zum Projekt sowie Beteiligung am Stand
- Projektvorstellung auf dem Hoffest der Agraset Agrargenossenschaft eG 2022
- Mündliche Vermarktung des Projektes auf der EuroTier 2022 in Hannover durch GICON
- Veröffentlichung in der Bauernzeitung: Artikel „Projekt AlgaPork: Probiotika fürs Borstenvieh“ vom 29.12.2021 (<https://www.bauernzeitung.de/agrarpraxis/tierhaltung/projekt-algapork-probiotika-fuers-borstenvieh/>)
- Veröffentlichung in der Sächsischen Zeitung: Artikel „Mikroalgen für nachhaltige regionale Wertschöpfung“ vom 26.07.2021 (<https://www.medien-service.sachsen.de/medien/news/255228>)
- Veröffentlichung in top agrar online: Artikel „Sachsen testet Mikroalgen im Mastfutter“ vom 17.12.2019 (<https://www.topagrar.com/schwein/news/sachsen-testet-mikroalgen-im-mastfutter-11936779.html>)
- Artikel zum Projekt in der Firmenzeitschrift der GICON GmbH „GICONcret“, welche an Partnerfirmen und Geschäftskontakte versendet wird
- Mündliche Berichte und Erklärungen zum Projekt bei Geschäftskontakten, Einbeziehungen bei diversen Führungen über das Agraset Gelände

5 Wirkung des Projektes

5.1 Beitrag zu den Prioritäten der EU für die Entwicklung des ländlichen Raums

1. *Förderung von Wissenstransfer und Innovation in der Land- und Forstwirtschaft und den ländlichen Gebieten:*

Mit dem Projekt ist ein Kompetenznetzwerk zur Mikroalgenproduktion und deren Einsatz in der Nutztierfütterung entstanden. Die Ergebnisse des Projektes beinhalten die erfolgreiche Überführung der Mikroalgentechnologie in die landwirtschaftliche Praxis, hiermit ergibt sich ein neues Potenzial, was deutlich über den Einsatz der Algen als Futtermittelzusatz hinaus geht. Letzteres ist eine neue Möglichkeit zur Förderung der Tiergesundheit und der Reduktion des Antibiotikaeinsatzes. Weiterhin eröffnet die Mikroalgenkultivierung am Hof neue Möglichkeiten zur Emissionsreduktion und wirtschaftlichen Vermarktung.
2. *Verbesserung der Lebensfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe und der Wettbewerbsfähigkeit aller Arten von Landwirtschaft in allen Regionen und Förderung innovativer landwirtschaftlicher Techniken und der nachhaltigen Waldbewirtschaftung:*

Die Nutzung innovativer, ressourcenschonender Mikroalgentechnologie für die bessere Futtermittelverwertung trägt nachweislich zu finanziellen Einsparungen bei, reduzierte Tierentnahmen und ein verringerter Antibiotikaeinsatz unterstützen diese Einsparungen maßgeblich. Die Nutzung der vor Ort produzierten Alge außerhalb der Futtermittelergänzung eröffnet zudem neue Märkte.
3. –
4. *Wiederherstellung, Erhaltung und Verbesserung der mit der Land- und Forstwirtschaft verbundenen Ökosysteme:*

Die Versuchsgruppen konnten im Vergleich zu den Kontrollgruppen durch verbesserte Futtermittelverwertung eine leicht höhere Stickstoffeffizienz aufweisen.

Die Algentechnologie am Hof bietet das Potenzial zur Aufreinigung von Abluft und/oder Oberflächenwassern, wodurch sie zur Reduktion von Schadstoffausstößen beiträgt. Algen können zudem als Bodenverbesserer eingesetzt werden und somit den Einsatz chemischer Düngemittel reduzieren sowie als temporäre Emissionssenken dienen.
5. *Förderung der Ressourceneffizienz und Unterstützung des Agrar-, Nahrungsmittel- und Forstsektors beim Übergang zu einer kohlenstoffarmen und klimaresistenten Wirtschaft:*

Durch die Futtermittelergänzung mit Mikroalgen wurde die Futtermittelverwertung signifikant verbessert. Daraus ergibt sich eine ressourcenschonendere Produktion von Lebensmitteln durch geringeren Futtermittelbedarf und damit ein geringerer Carbon-Footprint pro kg Fleisch. Zusätzlich nimmt die phototrophe Mikroalgenkultivierung CO₂ aus der Umgebung auf.
6. *Förderung der sozialen Inklusion, der Armutsbekämpfung und der wirtschaftlichen Entwicklung in ländlichen Gebieten:*

Das Projekt kann zu einer Imageverbesserung der Landwirtschaft in der öffentlichen Wahrnehmung durch Vermarktung der positiven Ergebnisse (Antibiotikareduktion, weniger Krankheits- und Todesfälle, verbessertes Tierwohl) führen. Außerdem kann es zur Verbesserung der wirtschaftlichen Situation der landwirtschaftlichen Betriebe beitragen, indem Einkommen stabilisiert werden. Mit der Etablierung der Mikroalgenkultivierung in der Landwirtschaft lassen sich alternative Formen der Wertschöpfung erschließen.

5.2 Beitrag zu den Zielen der EIP-AGRI

1. *Förderung eines ressourceneffizienten, wirtschaftlich lebensfähigen, produktiven, wettbewerbsfähigen, emissionsarmen, klimafreundlichen und -resistenten Agrar- und Forstsektors mit einem Hinarbeiten auf agrarökologische Produktionssysteme, der in Harmonie mit den wesentlichen natürlichen Ressourcen funktioniert, von denen die Land- und Forstwirtschaft abhängt:*

Es konnte gezeigt werden, dass die Zufütterung geringer Mengen unverarbeiteter Mikroalgen der *Chlorella*-Spezies zu einer Verbesserung der Produktivität in der Vormastperiode geführt hat. Außerdem konnte in der Versuchsgruppe eine signifikant geringere Häufigkeit der Antibiotikagabe und der Tierentnahme festgestellt werden. Beide Faktoren verursachen finanzielle Einsparungen und sind gleichzeitig ein Zeichen, dass die Tiergesundheit durch die Algen verbessert wurde.

2. *Beitrag zu einer sicheren, stetigen und nachhaltigen Versorgung mit Lebensmitteln, Futtermitteln und Biomaterialien, was sowohl bestehende als auch neue Produkte betrifft:*

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass Algen als Futterzusatz zu einer höheren Zunahme bei gleichem Futtermiteinsatz und einer besseren Tiergesundheit führen. Das macht die Versorgung mit dem Lebensmittel Fleisch stabiler und nachhaltiger, da Ressourcen eingespart werden können. Zudem trägt der verringerte Antibiotikaeinsatz zu Absicherung der gesamt-gesellschaftlichen Gesundheit bei, da die Einsatzreduktion auch die Gefahr von potenziellen neuen Antibiotikaresistenzen reduziert.

3. *Verbesserung der Prozesse zur Bewahrung der Umwelt, zur Eindämmung des Klimawandels und zur Anpassung an seine Auswirkungen:*

Die Implementation der Mikroalgentechnologie und deren Nutzung zur Futtermittelergänzung im Agrarbereich sind der Türöffner, um das Potenzial der Alge am Hof vollständig auszuschöpfen. Während der Algenkultivierung können sowohl Abgas- als auch Abwasserströme aufgereinigt werden, dadurch werden verschiedene Schadstoffemissionen reduziert. Neben der Nutzung zur Futtermittelergänzung kann die Algensuspension auch zur Verbesserung ausgezehrter Böden genutzt werden. So kann der Einsatz chemischer Düngemittel und damit negative Umweltauswirkungen wie Diversitätsverlust oder Grundwasserverschmutzungen reduziert werden. Algen können zudem als innovative Ressource genutzt werden

4. *Brückenschlag zwischen Spitzenforschung und -technologie sowie den Landwirten, Waldbewirtschaftern, ländlichen Gemeinden, Unternehmen, NRO und Beratungsdiensten:*

Die Umsetzung des Projektes hat zur Etablierung der Mikroalgenbiotechnologie in der Landwirtschaft gedient. Diese Technologie kann als Zukunftstechnologie betrachtet werden, da sie nicht nur zum Zweck der Futtermittelergänzung sondern weiterhin als neuer Rohstoff sowie zur Abwasser-/Abgasaufreinigung und als natürlicher Bodenverbesserer eingesetzt werden kann. Es ergeben sich also vielfältige Möglichkeiten, wie ein Landwirt die Mikroalgentechnologie für sich und sein Unternehmen sinnvoll und nachhaltig nutzen kann.

Im Rahmen des Projektes wurden Technologien der fodjan GmbH eingesetzt und verbessert. Es kam zur Weiterführung der Digitalisierung der Schweinemastanlage mit modernsten Technologien und Algorithmen. Dazu wurden unter anderem Umweltsensoren eingesetzt.

5.3 Beitrag zu den in der SWOT-Analyse festgestellten Bedarfen

1. *Verbesserung des ökologischen oder chemischen Zustandes von Grund- oder Oberflächenwasserkörpern:*
Durch bessere Futtermittelverwertung kommt es zu einer höheren Stickstoffeffizienz, also einem verringerten Ausstoß.
Die Algenproduktion am Hof bietet das Potenzial zur Aufreinigung von gesammelten Oberflächenwässern. Dadurch kann das Auftreten von biologisch belastetem Sickerwasser minimiert werden.
2. -
3. *Senkung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft:*
Die bessere Futtermittelverwertung durch die Algenzusatzung senkt den Carbon-Footprint pro kg Fleisch. Der verringerte Tierverlust führt zusätzlich zu einer höheren Ressourceneffizienz. Mit wenigen technischen Anpassungen, die jedoch nicht zum Projekt gehörten, kann die Algenproduktion auch zur Stall-Abgasreinigung genutzt werden (N- und C-haltige Verbindungen dienen als Nährstoffe für die Algen).
4. -
5. -
6. *Steigerung der Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft:*
Durch die höheren Zunahmen der Tiere, weniger Krankheiten und weniger Tierentnahmen konnte die Arbeitsproduktivität deutlich gesteigert werden.
7. -
8. -
9. -
10. -
11. -
12. *Verringerung des Energieverbrauchs in Gartenbau, Masttierhaltung und Milchkühlung:*
Durch höhere Tageszunahmen verringert sich der Energiebedarf pro kg Fleisch, durch die systematische Integration der Mikroalgenkultivierung in die Synergien des Landwirtschaftsbetriebs ist der energetische Mehraufwand gering.
13. -

6 Zusammenarbeit in der operationellen Gruppe

6.1 Ausgestaltung der Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit in der operationellen Gruppe (OG) wurde vertraglich geregelt; über einen Kooperationsvertrag zwischen allen Beteiligten und Dienstleistungsverträgen zwischen Agraset und den einzelnen Projektteilnehmern.

Kurz zusammengefasst umfasste der Kooperationsvertrag folgende Aspekte:

- Die OG wird nach außen durch Agraset, durch Herrn Gumpert, vertreten
- Praktische Koordination der OG übernimmt GICON im Auftrag von Agraset, inkl. Überwachung der Einhaltung des Zeitplans, der Planung und Leitung von Besprechungen sowie deren Protokollierung.
- Es wurde der Arbeits- und Zeitplan festgelegt.
- Beschlüsse erfolgen nach Mehrheitsabstimmung und werden schriftlich niedergelegt.
- Die Abrechnung von Projektkosten erfolgt über Agraset, Aus-/Einzahlungen sind mit den einzelnen Teilnehmern vertraglich geregelt (Dienstleistungsvertrag).
- Es wurde eine Geheimhaltungsvereinbarung getroffen, ausgenommen Veröffentlichungen in der EIP-Datenbank und Informationen an Zuwendungsgeber.
- Der Kooperationsvertrag klärt Kündigungs- und Beendigungsbedingungen.

Der vollständige Kooperationsvertrag wurde mit den 2. Nachforderungen zum Projektantrag eingereicht und liegt dem Fördermittelgeber somit vor.

Für die Zusammenarbeit zur Projektbearbeitung wurden Treffen unter den notwendigen Mitgliedern der OG nach Bedarf abgehalten (digital). Es bestand regelmäßiger Kontakt der jeweils verantwortlichen Gruppenmitglieder zur Umsetzung spezifischer Projektaufgaben.

Zusätzlich erfolgten zur Abstimmung und Erstellung der Zwischenberichte obligatorische, protokollierte Treffen, zu denen alle Mitglieder der OG vertreten sein mussten. Für die abschließenden Fütterungsperioden mit frischen Algen aus dem PBR und der Vorbereitung des Abschlussberichts wurden in den letzten 8 Monaten der Projektlaufzeit wöchentlich Termine zur kurzen Absprache durchgeführt.

Die Protokolle der Treffen für die Zwischenberichte sowie das Protokoll zum Abschlusstreffen sind im Anhang zu finden.

6.2 Mehrwert der operationellen Gruppe

Agraset

Durch das Projekt und die Zusammenarbeit in der OG ist ein breites Netzwerk entstanden, auf das auch bei diversen anderen, zukünftigen Projekten zurückgegriffen werden kann. Die guten Ergebnisse des Projektes und die Vorreiterposition bei der Vor-Ort-Algenkultivierung dienen außerdem als Alleinstellungsmerkmal für den Betrieb, was über das Projekt hinaus gute Werbung für die Agraset Agrargenossenschaft ist.

Gicon

Das Projekt bot für GICON die Möglichkeit des praktischen Betriebs des GICON-PBR in der Region des Hauptfirmensitzes und stellte somit eine gute Referenz dar. Bei Kundenterminen

konnte beispielsweise auf dem Gelände der Agraset Agrargenossenschaft eG der Einsatz des PBRs gezeigt werden. Die Zusammenarbeit hat zudem zu neuen Erkenntnissen im Langzeitbetrieb des PBRs geführt, wodurch einige Optimierungen in zukünftigen Projekten am PBR vorgenommen werden. Des Weiteren kam es zur Vernetzung mit weiteren Landwirten, einerseits mit Interesse an Mikroalgentechnologie, andererseits auch mit Interesse an den vielfältigen, anderen Dienstleistungen der GICON®-Gruppe.

Fodjan

Dem Projektpartner fodjan GmbH ist durch die Zusammenarbeit innerhalb der operationellen Gruppe sowohl innerhalb als auch außerhalb der OG ein deutlicher Mehrwert entstanden. Die gute Kooperation zwischen den Mitgliedern der OG und die vorhandene bzw. gewonnene Expertise zur Fachfragestellung ist als geeignete Voraussetzung für die weitere Verbreitung der Projektergebnisse zu sehen. Die Kenntnis über Optimierungsmöglichkeiten innerhalb und zwischen in-vitro und Praxisversuchen, verbesserte Abläufe und eine noch gezieltere und damit aufwendigere Vorplanung neuer und innovativer Projektziele und Methoden bestärkt die OG, die neu erlangten Hypothesen gemeinsam untersuchen zu wollen. Dazu ist über die OG bereits ein sehr gutes Netzwerk entstanden, was durch mögliche neue Versuchsziele erweitert werden kann. Auch die direkten Überlegungen zur Praxistauglichkeit der Methode und Konzepten für Geschäftsmodelle konnten bereits in die Überlegungen der OG integriert werden. Über die internen Erfolge hinaus, ist durch die Kooperation innerhalb der OG für die fodjan GmbH auch in Bezug auf die Kooperation mit bestehenden und neuen Partnern ein deutlicher Mehrwert entstanden. So konnte insbesondere am Beispiel der Algensupplementation ein breites Interesse von ökonomischen und ökologischen Verbesserungspotenzialen und der Tierwohlsteigerung im Sinne einer ganzheitlichen Effektivitätsbetrachtung der Schweinehaltung erlangt werden.

Universität Rostock

Insbesondere die offene Kommunikation und der ergebnisorientierte Austausch in der operationellen Gruppe haben das Projekt AlgaPork aus Sicht der Universität zu einem Erfolg werden lassen, da so Informationen effizient an alle weitergegeben wurden und Diskussionen und Feedback direkt erfolgen konnten. Die Beteiligung aller wichtigen Partner vom Schweinehalter bis zur Forschung war dabei ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg, da Ergebnisse sofort in Bezug auf ihre Praxisrelevanz geprüft wurden. Das Projekt hat zudem für die Universität Rostock wichtigen Mehrwert in verschiedenen Bereichen gebracht. So wurde die Zusammenarbeit zwischen MitarbeiterInnen der Professuren für Tierernährung, für Tiergesundheit und Tierschutz sowie von Grünland und Futterbauwissenschaften deutlich enger. Hierdurch wurde das Potential, sowie Chancen und Risiken von Mikroalgen in der Schweinefütterung breiter diskutiert als vorher.

Eine weitere Zusammenarbeit wird es nach Projektende trotz der erfolgreichen Zusammenarbeit vorerst nicht geben. Hieran besteht bei den Mitgliedern der OG aktuell kein Bedarf. Es wird jedoch bereits intern geprüft, wie die durch die Versuchsanstellung gewonnenen Ergebnisse und daraus resultierende neue Hypothesen in Zukunft gemeinsam untersucht werden können. Bei weiteren Förderungsmöglichkeiten soll die Zusammenarbeit wieder aufgenommen werden, um die sehr guten Projektergebnisse zu festigen und aufgekommene Fragestellungen zu klären.

7 Verwendung der Zuwendung

Die Fördermittel wurden für Sachkosten und Dienstleistungen eingesetzt. Die vollständige Auflistung der Ausgabenpositionen wird im Verwendungsnachweis zu finden sein, welcher unabhängig vom Abschlussbericht eingereicht wird. In der nachfolgenden Tabelle 20 sind die im Projekt angefallenen Sachkosten aufgelistet.

Tabelle 20 Auflistung der Sachkosten aus dem Projekt AlgaPork

<i>Position</i>	<i>Firma</i>	<i>Gegenstand</i>	<i>Brutto</i>	<i>Netto</i>	<i>MwSt.</i>	<i>Info</i>
Sachkosten	LKS	Futteranalyse	533,60	448,40	85,20	
Sachkosten	WEDA	Pumpe, Dosierer	3.278,39 €	2.754,96 €	523,44 €	inkl. Skonto 2%
Sachkosten	LKS	Futteranalyse	389,13 €	327,00 €	62,13 €	
Sachkosten	fodjan	Leistung 01.06.2021- 30.06.2022	4.760,00 €	4.000,00 €	760,00 €	Umweltsensor
Sachkosten	fodjan	Leistung 01.07.2022- 31.12.2022	2.380,00 €	2.000,00 €	380,00 €	Umweltsensor

Für die weiterhin nutzbaren Sachgüter wird in Tabelle 21 die weitere Nutzung oder das weitere Vorgehen beschrieben.

Tabelle 21 Angaben zur weiteren Nutzung von geförderten Gütern

<i>Sachgüter</i>	<i>Weitere Nutzung</i>
<i>Dosiergerät für Additive</i>	Der Dosierer der Firma Meier-Brakenberg, geliefert über die Firma WEDA, wird weiterhin als Dosierer für Additive (z.B. Probiotika) in der Schweinehaltung von Agraset eingesetzt. Zusätzlich wurde für die Nutzung des Dosierers ebenfalls über die Fa. WEDA eine Pumpe erworben. Die weitere Nutzung entspricht der des Dosierers.
<i>Umwelt-Sensoren</i>	Die Sensoren wurden über das Budget für das NIRS-System gemietet, die Begründung erfolgte bereits in Kapitel 2.2.3. Die Umweltsensoren wurden ausschließlich für den Zeitraum des Projektes geleast und nach Ende die Nutzung wieder ausgebaut.
<i>Photobioreaktor (Bestandteil Dienstleistung GICON)</i>	Der Photobioreaktor wurde gemietet, als projektbezogener Forschungsreaktor am Standort installiert und wird nach Abschluss des Projektes wieder abgebaut.

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

8.1 Rückblick

Im Projekt AlgaPork konnten erstmalig unter Praxisbedingungen die Effekte der Mikroalgensupplementierung demonstriert werden. Dabei wurden im Laufe eines Jahres über 1500 Läufer mit mikroalgenhaltigem Futter versorgt und ihr Wachstum sowie Verhalten dokumentiert. Die Versuchsgruppe war dabei vollständig in den normalen Stallbetrieb integriert. Trotz der bereits sehr guten hygienischen Bedingungen und dem sehr guten Tiergesundheitszustand im Agrarbetrieb konnten sichtbare Effekte durch die Algensupplementierung erzeugt werden. Die Ergebnisse sind statistisch abgesichert und können sowohl mathematisch als auch tiermedizinisch den Mikroalgen zugeschrieben werden. Dabei wurde vollständig auf den Zellaufschluss und die Aufbereitung der Algen verzichtet, was Energie, Zeit und Materialkosten eingespart hat. Zudem wurde mit der Vor-Ort-Produktion ein System gewählt, was einerseits den Einkauf, Transport und Lagerung von Algen erspart, andererseits auch die energetische und stoffliche Einbindung der Algenproduktion am Hof ermöglichte. Dazu gehörten die Ankopplung des Reaktors an das Fütterungssystem und die Kopplung des Kühlkreislaufs mit dem Brauchwassertank und damit der Brauchwasser-Erwärmung.

Auch die „Veredelung“ des Mikroalgeninokulates war trotz hoher Temperaturen, der Nutzung von unsterilen Arbeitsmitteln und teilweise starker Staubbelastung erfolgreich. Es konnte ein stetiges Wachstum der Algenbiomasse festgestellt werden.

Nicht alle Ansätze, die im Voraus angedacht waren, konnten im Projekt umgesetzt werden.

Die mixotrophe, also durch Glucose unterstützte Mikroalgenkultivierung wurde im Laufe des Projekts von rein phototropher Kultivierung abgelöst. Die regelmäßige Zugabe von Glucose hat unter den Versuchsbedingungen vor Ort ein zu hohes Risiko für das Ausbreiten von Kontaminationen dargestellt, besonders im Hinblick auf die Nutzung von Brunnenwasser und die schwebstoffreiche Luft auf dem Gelände der Agraset eG. Durch die phototrophe Arbeitsweise musste eine geringere Mikroalgenkonzentration in Kauf genommen werden. Jedoch hat die Verringerung der Mikroalgenkonzentration nicht zu statistisch signifikanten Abweichungen der Wirksamkeit geführt. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit von Algen als Futtermittelkomponente ist diese Erkenntnis sogar von Vorteil, da das bedeutet, dass auch mit geringen Algenkonzentrationen Effekte erzielt werden können. Hier kommt es also nicht auf die Menge an

Die im Stall installierten Sensoren zur Kontrolle der Stallbedingungen sowie der Agilität der Tiere haben sich nur als bedingt tauglich erwiesen. Hier mangelt es noch, bis auf wenige Ausnahmen, an der Stabilität und Betriebssicherheit der installierten Systeme. Grundsätzlich war der Ansatz zur zeitnahen Kontrolle der Hälterungsparameter aber richtig und sollte unter Berücksichtigung der Entwicklung der Sensortechnik weiterverfolgt werden.

Neben den wenigen Problemen, die in der Projektdurchführung auftraten, kamen vor allem nicht vorhersehbare Verzögerungen aufgrund der Corona-Pandemie hinzu. Neben Ausgangssperren, Quarantäne-/Isolationszeit und krankheitsbedingten Personalengpässen kamen Liefer- und Installationsprobleme hinzu. Statt im Sommer 2021 konnte mit der fütterungsspezifischen Mikroalgenproduktion vor Ort erst im Frühjahr 2022 gestartet werden. Der Grund dafür waren pandemiebedingte Verzögerungen bei Einbindung des PBR-Systems am Hof sowie Lieferschwierigkeiten für Zusatzinstallationen. Dadurch kam es besonders für die Mitarbeiter von Agraset zu beträchtlichem Mehraufwand.

Bezüglich des Projektablaufes ist die generell gute Kooperation und Kommunikation unter den Projektpartnern, die Bereitschaft in der Projektdurchführung auch einen gewissen, vorher nicht kalkulierbaren Mehraufwand an Arbeitsleistung zu gewährleisten und sich an der kritischen und konstruktiven Ergebnisanalyse zu beteiligen, hervorzuheben. Die Bereitwilligkeit zur Kompensation dieser Merkmale über den Projektrahmen hinaus ist besonders hervorzuheben. Dadurch konnten bereits neben dem beantragten Vorhaben eine Reihe weiterer Erkenntnisse gewonnen werden, die besonders praxisrelevant sind. Dies unterstützt auch das Interesse der Branche für die erlangten Ergebnisse sowie die Möglichkeiten der Ergebnisverbreitung für die operationelle Gruppe. Die Analyse und Diskussion der erlangten Ergebnisse in der Schlussphase des Projektes wurden sehr ergebnisoffen und konstruktiv geführt. Bei Fragen der Kausalität und der Entwicklung aufbauender Versuchshypothesen beteiligten sich alle Mitglieder der OG intensiv.

Für die hier kooperierenden Mitglieder der OG gab es im Voraus wenig Möglichkeiten die Änderungen in Teilen der Umsetzung des Versuches vorherzusehen. Die Gegebenheiten zwischen Projektplanung und -umsetzung variierten durch die äußeren Umstände leicht. Für zukünftige Versuchsanstellungen sind die Optimierungen unter den Mitgliedern des Konsortiums bereits geklärt.

8.2 Ausblick

Wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten erwähnt, konnten bereits innerhalb des hier vorliegenden Versuches über den Antrag hinausgehende Erkenntnisse zur Supplementierung von Mikroalgen bei wachsenden Tieren ermittelt werden. Durch die überaus positiven Projektergebnisse ergaben sich jedoch auch eine Reihe weiterer Versuchshypothesen. Auch das Interesse der praktischen Landwirtschaft für diese Optimierungsmaßnahme hat den Druck auf weitere zu klärende Zusammenhänge auf die OG erhöht. Diese können in folgenden Themenschwerpunkten zusammengefasst werden.

Aufgrund der Beobachtungen, die auch nach Ende der Algenfütterung noch eine Fortführung des Effektes bestätigen, sollte die Persistenz der Algenwirkung sowie die Sekundärwirkung gesünderer Tiere über die gesamte Wachstumsphase geprüft werden. In diesem Kontext sollte die Verlagerung der Mikroalgensupplementation in die Ferkelaufzucht untersucht werden. Wenn bereits eine Zufütterung an Ferkel direkt nach der Entwöhnung stattfinden würde, könnte aufgrund der geringeren Futtermenge Algenbiomasse eingespart und die Effekte verstärkt werden, da zu erwarten ist, dass sich die Wirkungen auch nach Absetzen der Algensupplementation über einen weiteren Zeitraum noch zeigen werden. Alternativ könnte erprobt werden, ob die Zufütterung im Läuferalter auf einen kürzeren Zeitraum (z.B. 14 Tage) reduziert werden kann, um weitere Kosten zu senken und bei gleicher Anlagengröße eine größere Anzahl Tiere zu versorgen.

Ebenso sollte die Konzentration der Algen im Futter optimiert werden. Da sich gezeigt hat, dass auch mit niedrigeren Algenkonzentrationen bei Verfütterung der vollständigen Suspension vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können, sollte sich auch die notwendige Anlagengröße am Hof reduzieren lassen. In diesem Zusammenhang sollte dann der genaue Bedarf an Algen pro Schwein eruiert und in die Anlagenplanung mit einbezogen werden, wobei hier auch die potenzielle Wirkung von in der Suspension vorhandenen Algensezernaten untersucht werden sollte.

Das Projekt hat in einem Mastbetrieb stattgefunden, welcher mit sehr hohen Hygienestandards arbeitet und sich bereits durch einen geringen Therapieindex auszeichnet.

Die Effektivität von Mikroalgen unter in anderen, unter ungünstigeren Haltungs- und Fütterungsbedingungen arbeitenden Betrieben zu testen, sollte zu noch ausgeprägteren Ergebnissen führen. Der durch die Supplementation zu erzielende Effekt sollte sich deutlicher zeigen, da eine geringere „Ausgangstiergesundheit“ vorliegt und andererseits suboptimale Haltungsbedingungen die genetisch bedingte Entwicklungsfähigkeit der Tiere nur in einem geringeren Grad ausschöpfen. Genauso wäre eine Erprobung des Ansatzes in Biobetrieben interessant, da hier die Wahrscheinlichkeit einer Implementierung der noch recht teuren Algentechnologie etwas höher ist, da hier auch die Preisakzeptanz und Tierwohlbefürwortung in der Kundschaft deutlich größer ist.

Neben dem Einsatz der Mikroalgen ist auch die technische Verfahrensweise weiter zu optimieren. Die Kultivierung von Mikroalgen bietet viele Möglichkeiten, intensiver in die landwirtschaftlichen Stoffkreisläufe integriert zu werden. Dazu gehört unter anderem die Rückführung stickstoffreicher Stallabluft. Diese kann als Nährstoffquelle (N-Verbindungen, CO₂) für die Mikroalgen in die Kultivierungssuspension eingeleitet und dadurch gereinigt werden. Ebenso umsetzbar ist die Aufreinigung von leicht verschmutzten Oberflächenwassern. Die darin gelösten Stoffe können auch wieder als Nährstoffe für die Mikroalgen dienen. Diese Art der Integration würde nicht nur die Betriebskosten der Mikroalgenanlage senken, sondern auch potenzielle Umweltverschmutzungen verhindern.

Es ergeben sich außerdem weitere Fragestellungen, dazu gehören:

- Rentabilität des Betriebs eines Algenreaktors für den Landwirtschaftsbetrieb zur Versorgung regionaler Abnehmer von Mikroalgen
- Prüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Spezies (insbesondere Monogastrier)
- Überprüfung der nutritiven Effekte im Zusammenhang der Preiswürdigkeit der Algenbiomasse zur Substitution von üblichen Proteinträgern sowie zur Mengen- und Spurenelement-Versorgung wachsender Tiere
- Analyse weiterer Effekte der inneren und äußeren Produktqualität, Verbraucherakzeptanz und des Tierwohls der Algensupplementation.

Literaturverzeichnis

- ATLAS, 2019. ATLAS - AGRICULTURAL INTEROPERABILITY AND ANALYSIS SYSTEM [WWW Document]. ATLAS Agric. INTEROPERABILITY Anal. Syst. URL <https://www.atlas-h2020.eu/> (accessed 1.23.23).
- BMEL, 2022. Entwicklung der Kennzahlen zur Therapiehäufigkeit [WWW Document]. BMEL. URL <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierarzneimittel/entwicklung-kennzahlen-therapiehaeufigkeit.html> (accessed 1.23.23).
- Boyle, L.A., Edwards, S.A., Bolhuis, J.E., Pol, F., Šemrov, M.Z., Schütze, S., Nordgreen, J., Bozakova, N., Sossidou, E.N., Valros, A., 2022. The evidence for a causal link between disease and damaging behavior in pigs. *Front. Vet. Sci.* 1575.
- Brüggemann, D., Heger, H., Hilgers, J., Leuer, S., 2019. *Vetmedica: Typisch Ökonomie 2.* Auflage [WWW Document]. URL https://www.vetmedica.de/html/epaper/typisch_oekonomie/index.html#2 (accessed 1.23.23).
- Das, P.K., Rani, J., Rawat, S., Kumar, S., 2021. Microalgal co-cultivation for biofuel production and bioremediation: current status and benefits. *BioEnergy Res.* 1–26.
- DLG, 2019. Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N-/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen.
- Obradovic, M.R., Segura, M., Segalés, J., Gottschalk, M., 2021. Review of the speculative role of co-infections in *Streptococcus suis*-associated diseases in pigs. *Vet. Res.* 52, 1–22.
- Padmaperuma, G., Kapoore, R.V., Gilmour, D.J., Vaidyanathan, S., 2018. Microbial consortia: a critical look at microalgae co-cultures for enhanced biomanufacturing. *Crit. Rev. Biotechnol.* 38, 690–703.
- Schrader, L., 2016. *Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis-Schwein.* Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft eV (KTBL).
- Schultheiß, U., 2021. Praxistauglichkeit von Tierschutzindikatoren bei der betrieblichen Eigenkontrolle, Erarbeitung eines Orientierungsrahmens sowie technische Umsetzung in digitalen Anwendungen.
- Tassone, S., Fortina, R., Peiretti, P.G., 2020. In Vitro Techniques Using the DaisyII Incubator for the Assessment of Digestibility: A Review. *Animals* 10, 775. <https://doi.org/10.3390/ani10050775>
- Youssef, I.M.I., Kamphues, J., 2017. Fermentation of lignocellulose ingredients in vivo and in vitro via using fecal and caecal inoculums of monogastric animals (swine/turkeys). *J. Basic Appl. Sci.* 2018, 407–413. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.05.006>