

AlgoWert

Abschlussbericht April 2025

Projektleiter:



28.04.2025

Dr Sergiy Smetana

Table of Contents

1.	Kurzdarstellung (in Alltagssprache)	4
1.1.	Ausgangssituation und Bedarf.....	4
1.2.	Projektziel und konkrete Aufgabenstellung (Titel des Projekts max. 150 Zeichen).....	4
1.3.	Mitglieder der OG.....	4
1.4.	Projektgebiet	5
1.5.	Projektlaufzeit und Dauer.....	5
1.6.	Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)	5
1.7.	Ablauf des Verfahrens	5
1.8.	Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse (in Deutsch und Englisch max. 200 Wörter, 1.200 Zeichen)	6
2.	Eingehende Darstellung	7
2.1.	Verwendung der Zuwendung	7
2.1.1.	Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit einer OG	7
2.1.2.	Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen.....	8
2.2.	Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn	10
2.2.1.	Ausgangssituation	10
2.2.2.	Projektaufgabenstellung	10
2.3.	Ergebnisse der OG in Bezug auf.....	11
2.3.1.	Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. Beispiele wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?	11
2.3.2.	Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG?	11
2.3.3.	Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?	12
2.4.	Ergebnisse des Innovationsprojektes	12
2.4.1.	Zielerreichung	12
2.4.2.	Abweichungen zwischen Planung und Ergebnis	13
2.4.3.	Projektverlauf (evtl. Fotos).....	13
A.	AP 1 – Projektkoordinierung und -management – Zusammenfassung (M1-36).....	15
B.	AP 2 – Design und Konstruktion des Prototyps (M1-12).....	18
C.	AP 3 – Integrierung des Prototyps, Demonstrationsversuche und Biomasseverwertung (M12-30)	20
D.	AP 4 – Etablierung der Mikroalgenkultivierung und Unterstützung der Implementierung (M1-24)	37
E.	AP 5 – Nachhaltigkeitsbetrachtung (M12-36)	41
F.	AP 6 – Identifizierung von Vermarktungsstrategien sowohl Kommunikation als auch Transfer von Ergebnissen (M6-36).....	57

2.4.4.	Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen	59
2.4.5.	Nebenergebnisse	59
2.4.6.	Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben	59
2.4.7.	mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern.....	59
2.5.	Nutzen der Ergebnisse für die Praxis Sind verwertbare/nutzbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?	59
2.6.	(Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse	60
2.7.	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit Gibt es weitergehende (wissenschaftliche) Fragestellungen aus den Projektergebnissen, die zukünftig zu bearbeiten sind?	60
2.8.	Kommunikations- und Disseminationskonzept: Darstellung in welcher Weise die Ergebnisse kommuniziert oder verbreitet wurden, ggf. mit Verweis auf Veröffentlichungen und Angabe der Quellen. Grundsätzliche Schlussfolgerungen (ggf. Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft) und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP AGRI.	61

1. Kurzdarstellung (in Alltagssprache)

1.1. Ausgangssituation und Bedarf

Das Algowert-Projekt wurde initiiert, um pflanzliche Nebenprodukte aus der Landwirtschaft, die traditionell durch Kompostierung oder andere Entsorgungsmethoden ungenutzt bleiben, in die Lebensmittelproduktion zurückzuführen. Diese Methoden führen dazu, dass wertvolle Nährstoffe aus der Nahrungsmittelkette verloren gehen. Angesichts des Bedarfs an nachhaltigen und ressourceneffizienten Lösungen zielte das Projekt darauf ab, eine parallele Verwertungskette zu entwickeln. Durch Hydrolyse sollte Biomasse in Nährstoffe umgewandelt werden, die für die Kultivierung der Mikroalge *Galdieria sulphuraria* genutzt werden können. Die daraus resultierende Mikroalgenbiomasse sollte dann als Nahrungsergänzungsmittel in der Schweinefütterung eingesetzt werden, um die Tiergesundheit zu erhalten und die Abhängigkeit von herkömmlichen Futtermitteln zu verringern.

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

Das Hauptziel des Algowert-Projekts war die Entwicklung eines mobilen, kostengünstigen und einfach zu bedienenden Prototyps zur Mikroalgenkultivierung, den Landwirte mühelos in ihren Betriebsalltag integrieren können. Das System sollte es ermöglichen, mit minimalem Aufwand algenbasierte Ergänzungsfuttermittel für die Schweinefütterung zu produzieren. Der Fokus des Projekts lag auf der Konstruktion und Erprobung verschiedener Prototypkonfigurationen, der Optimierung der Mikroalgenkultivierung und der Bewertung der Auswirkungen des Algenzusatzes im Schweinefutter.

1.3. Mitglieder der OG

Das Projekt wurde von einer Operationellen Gruppe (OG) durchgeführt, die sich aus folgenden Partnern zusammensetzte:

- **DIL Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V.** – Projektkoordination, Prototypenkonstruktion, Materialbeschaffung, Tests, Mikroalgenkultivierung
- **ILU Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e. V.** – Forschung zu Hydrolyse und Mikroalgenkultivierung, Durchführung der Mikroalgenkultivierung
- **Ein Landwirt aus Niedersachsen** – Praktische Umsetzung und Durchführung der Schweinefütterungsversuche

1.4. Projektgebiet

Das Projekt wurde in Niedersachsen, insbesondere in der Region Artland, durchgeführt. Diese Region wurde aufgrund ihrer landwirtschaftlichen Bedeutung und der dort ansässigen Gemüseproduktion ausgewählt, da sie pflanzliche Nebenprodukte erzeugt, die im Rahmen des Projekts durch Hydrolyse in Algenfutter umgewandelt werden können.

1.5. Projektlaufzeit und Dauer

Das Algowert-Projekt lief von März 2021 bis April 2025 (49 Monate) und umfasste die folgenden Phasen:

- **Phase 1 (2021-2022):** Forschung und Materialbeschaffung, Prototypenentwicklung
- **Phase 2 (2022-2023):** Bau und erste Tests des Prototyps
- **Phase 3 (2023-2024):** Kultivierungsversuche, Prozessoptimierung, Schweinefütterungsstudien
- **Phase 4 (2024-2025):** Abschluss der Ergebnisse, Dissemination und Einbindung von Interessengruppen

1.6. Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)

Das Gesamtbudget des Projekts betrug xx€ und wurde im Rahmen des Europäischen Innovationspartnerschaftsprogramms (EIP) finanziert. Die Fördermittel deckten Personalkosten, die Anschaffung von Geräten und Materialien, Reisekosten, Verbreitungsaktivitäten und weitere projektbezogene Ausgaben ab. Eine detaillierte Kostenaufstellung wird in Abschnitt 2.1.2 erläutert.

1.7. Ablauf des Verfahrens

Das Projekt folgte einem strukturierten Ablauf:

- **Forschung und Entwicklung des Projektvorschlags:** Voruntersuchungen zur Machbarkeit der Umwandlung pflanzlicher Nebenprodukte in Mikroalgenbiomasse sowie Erstellung des Projektantrags.
- **Materialbeschaffung und Prototypenkonstruktion:** Beschaffung der benötigten Materialien und Bau eines Prototyps für die Mikroalgenkultivierung.

- **Kultivierungsversuche:** Erste Tests zur Etablierung und Optimierung der Kultivierungsprotokolle für die Mikroalgenart *Galdieria sulphuraria*.
- **Fütterungsversuche:** Integration der produzierten Algenbiomasse in Schweinefutter und Überwachung der Auswirkungen auf Tiergesundheit und Fleischqualität.
- **Optimierung der Protokolle:** Behebung von Herausforderungen wie mikrobieller Kontamination zur Verbesserung des Kultivierungsprozesses.
- **Dissemination und Einbindung von Stakeholdern:** Durchführung von Workshops und Weitergabe der Ergebnisse an externe Landwirte und Interessengruppen, um eine breitere Nutzung zu fördern und Feedback einzuholen.

Während des Projekts wurden sieben Zwischenberichte eingereicht, die den Fortschritt dokumentierten und Herausforderungen wie Verzögerungen bei der Materiallieferung aufgrund der COVID-19-Krise sowie Probleme mit mikrobieller Kontamination während der Kultivierung thematisierten. Das Projekt endete mit einem Abschlussworkshop am 3N Kompetenzzentrum, bei dem Projektpartner wie Dr. Daniel Pleissner vom ILU und Dr. Josef Frieling, der beteiligte Landwirt, die Ergebnisse präsentierten.

1.8. Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse (in Deutsch und Englisch max. 200 Wörter, 1.200 Zeichen)

Das Projekt entwickelte erfolgreich ein mobiles System zur Mikroalgenkultivierung, das es Landwirten ermöglicht, pflanzliche Nebenprodukte in proteinreiche Futtermittelzusätze umzuwandeln. Die erwarteten Vorteile umfassen:

- **Ökologische Auswirkungen:** Reduzierung von Abfällen und Nährstoffverlusten durch die Wiederverwertung von Biomasse.
- **Ökonomische Vorteile:** Senkung der Futterkosten für Schweinehalter durch die Eigenproduktion proteinreicher Futterkomponenten.
- **Nachhaltigkeit:** Förderung der Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft.

Diese Erkenntnisse tragen zur Entwicklung nachhaltiger landwirtschaftlicher Methoden bei und unterstützen innovative Lösungen für das Management landwirtschaftlicher Abfälle.

The project successfully developed a mobile microalgae cultivation system that enables farmers to convert agricultural by-products into protein-rich feed supplements. The expected benefits include:

- Environmental impact: Reducing waste and nutrient loss by repurposing biomass.
- Economic benefits: Lowering feed costs for pig farmers through self-produced protein sources.
- Sustainability: Integrating circular economy principles into agricultural practices.

These findings contribute to sustainable farming methods and support innovative solutions for agricultural waste management.

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung

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

Das Projekt wurde in sechs Hauptarbeitspakete (WPs) unterteilt:

- **WP1 (Koordination & Management):** Organisation von Meetings, Sicherstellung der Einhaltung regulatorischer Vorgaben, Überwachung des Projektfortschritts und effektive Kommunikation mit Stakeholdern.
- **WP2 (Prototypenentwicklung):** Die Konstruktion eines Mikroalgen-Kultivierungssystems erforderte iterative Anpassungen auf Basis laufender Tests und des erhaltenen Feedbacks. Verzögerungen bei der Beschaffung spezifischer Geräte führten zu einer Verlängerung der Bauzeit.
- **WP3 (Implementierung & Versuche):** Die Integration des Prototyps in landwirtschaftliche Betriebe stellte unerwartete Herausforderungen dar, insbesondere bei der Anpassung der Mikroalgenkultivierung an realistische landwirtschaftliche Bedingungen.
- **WP4 (Mikroalgen-Kultivierungsforschung):** Forschung zur Optimierung der Nährstoffumwandlungseffizienz und zur Bewältigung mikrobieller Kontaminationsrisiken. Schwankungen in der Zusammensetzung landwirtschaftlicher Nebenprodukte beeinflussten das Wachstum der Mikroalgen.
- **WP5 (Nachhaltigkeit & Lebenszyklusanalyse):** Bewertung der ökologischen Auswirkungen des Systems, einschließlich eines Vergleichs des CO₂-Fußabdrucks und der Ressourceneffizienz gegenüber herkömmlicher Futtermittelproduktion.
- **WP6 (Verbreitung & Kommerzialisierung):** Öffentlichkeitsarbeit durch Stakeholder-Workshops, Branchenpräsentationen und Diskussionen über das Marktpotenzial von mikroalgenbasierten Futtermittelzusätzen.

2.1.2. Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

	2022	2023	2024	2025	1. ZA 01/22-12/22	2. ZA 01/23-06/23	3. ZA 07/23-12/23	4. ZA 01/24-06/24	5. ZA 07/24-12/24	6. ZA 01/25-06/25
<i>DIL e. V. (Koordination)</i>										
5.2.1. Personalausgaben	10.800,00 €	13.392,00 €	15.984,00 €	4.464,00 €	10.366,59 €	6.321,81 €	10.123,92 €	8.478,00 €	6.516,90 €	2.300,00 €
5.2.2. Öffentlichkeitsarbeit	4.500,00 €	450,00 €	25.450,00 €	150,00 €					4.526,30 €	8.063,00 €
5.2.3. Reisekosten (Koordination)	1.336,00 €	228,00 €	- €	- €						
5.2.4. Verwaltungspauschale (15%)	1.116,00 €	2.232,00 €	2.232,00 €	1.116,00 €	1.554,99 €	347,55 €	1.167,45 €	1.271,70 €	977,54 €	345,09 €
	17.752,00 €	16.302,00 €	43.666,00 €	5.730,00 €	11.921,58 €	6.669,36 €	11.291,37 €	9.749,70 €	12.020,74 €	
<i>DIL e. V.</i>										
5.3.1. Personalausgaben	28.896,00 €	33.780,00 €	14.244,00 €	3.120,00 €	22.738,05 €	21.691,59 €	20.934,09 €	13.182,66 €	6.681,06 €	2.339,61 €
5.3.2. wissenschaftliche Studien, Analysen, Untersuchungen, Tests	7.776,00 €	1.918,11 €	3.910,29 €	2.592,00 €	92,00 €	1.961,02 €	4.285,53 €	3.442,70 €	27.042,88 €	3.707,57 €
5.3.4. Reisekosten	640,00 €	1.938,00 €	1.700,00 €	640,00 €					461,43 €	83,33 €
5.3.6. Kauf oder Leasing Von Instrumenten und Ausrüstungsgegenstände	61.095,41 €	- €	- €	- €	10.776,96 €	25.603,96 €	299,23 €	- €		
	98.407,41 €	37.636,11 €	19.854,29 €	6.352,00 €	33.607,01 €	49.256,57 €	25.518,85 €	16.625,36 €	34.185,37 €	6.131,51 €
<i>ILU e. V.</i>										
5.3.1. Personalausgaben	32.250,00 €	41.710,00 €	33.970,00 €	5.590,00 €	5.499,00 €	15.132,00 €	15.054,00 €	26.271,00 €	17.994,00 €	37.572,00 €
5.3.2. wissenschaftliche Studien, Analysen, Untersuchungen, Tests	1.882,00 €	3.882,00 €	4.637,05 €	- €		190,00 €	2.856,66 €	1.840,59 €	3.123,60 €	2.577,84 €
5.3.4. Reisekosten	630,00 €	2.294,00 €	2.201,00 €	563,00 €		278,80 €	219,26 €	252,20 €		691,70 €
	34.762,00 €	47.886,00 €	40.808,05 €	6.153,00 €	5.499,00 €	15.600,80 €	18.129,92 €	28.363,79 €	21.117,60 €	40.81,54 €
<i>Ludger Frieling</i>										
5.3.1. Personalausgaben	1.950,00 €	11.115,00 €	11.115,00 €	3.900,00 €	- €	- €	- €	- €	14.527,50 €	9.223,50 €
5.3.2. wissenschaftliche Studien, Analysen, Untersuchungen, Tests	- €	5.700,00 €	5.700,00 €	- €	- €	- €	- €	1.600,00 €	800,00 €	

5.3.3. Nutzungskosten sowie Material u. Bedarfsmittel bei Unternehmen de Urproduktion	- €	7.400,00 €	4.840,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	1.162,84 €	16.165,74 €	9.233,50 €
5.3.4. Reisekosten	- €	483,00 €	369,00 €	114,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	2.762,84 €	9.233,50 €
	2.064,00 €	24.698,00 €	22.024,00 €	4.014,00 €	- €	- €	- €	- €	- €	16.165,74 €	9.233,50 €
Pauschale ohne Pauschale					1.554,99 €	347,55 €	1.167,45 €	1.271,70 €	977,54 €	345,09 €	345,09 €
					49.472,60 €	71.179,18 €	53.772,69 €	56.229,99 €	82.511,91 €	66.560,17 €	66.560,17 €

2.2. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1. Ausgangssituation

Zu Beginn des Projekts wurden landwirtschaftliche Nebenprodukte wie Gemüseabfälle, Blätter und Stiele weitgehend entsorgt, ohne weiter genutzt zu werden. Bestehende Entsorgungsmethoden boten keine Möglichkeit zur Wertschöpfung, was zu wirtschaftlichen und ökologischen Ineffizienzen führte. Gleichzeitig waren konventionelle Futtermittel zunehmend von Preisschwankungen betroffen, was die Notwendigkeit alternativer, lokal produzierter Futtermittel unterstrich.

2.2.2. Projektaufgabenstellung

Das Projekt zielte darauf ab, ein geschlossenes Kreislaufsystem zu entwickeln, das es Landwirten ermöglicht, Biomasse direkt vor Ort zu verwerten und kosteneffizient Algen zu kultivieren, um eine stabile und nährstoffreiche Futtermittelquelle für die Schweineproduktion bereitzustellen.

Die Innovationen des Algowert-Projekts umfassen:

- **Nährstoffrückführung durch Hydrolyse:** Im Gegensatz zur traditionellen Kompostierung, bei der erhebliche Nährstoffverluste auftreten, ermöglicht Hydrolyse eine effiziente Extraktion von Nährstoffen aus landwirtschaftlichen Nebenprodukten.
- **On-Farm-Mikroalgenkultivierung:** Entwicklung eines mobilen, einfach zu bedienenden Systems, das es Landwirten ermöglicht, Algenfuttermittel direkt auf ihrem Hof zu produzieren.
- **Nachhaltige Futtermittelalternativen:** Mikroalgen im Schweinefutter verringern die Abhängigkeit von herkömmlichen Proteinquellen wie Sojaschrot, die mit Umweltproblemen verbunden sind.
- **Prinzipien der Kreislaufwirtschaft:** Durch die Wiederverwertung pflanzlicher Abfälle wird eine nachhaltige, geschlossene Wertschöpfungskette gefördert.

Diese Innovationen tragen zur Reduzierung von Abfällen, zur Steigerung der Ressourceneffizienz und zur Förderung einer nachhaltigen Nutztierhaltung bei.

2.3. Ergebnisse der OG in Bezug auf

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

Die primäre Forschung für die Erstellung des Antrags basierte auf früheren Arbeiten des ILU. DIL- und ILU-Mitarbeitende recherchierten Materialien und Komponenten für den Prototyp, um sicherzustellen, dass sie den Bedingungen für die Kultivierung und Hydrolyse von Mikroalgen (hohe Temperatur und niedriger pH-Wert) standhalten. Während der Bau des Prototyps im Gange war, entwickelte ILU das Kultivierungsprotokoll. Sobald die Kultivierung bei DIL begann, fungierte ILU als Berater, um sicherzustellen, dass die Parameter mit den erwarteten Ergebnissen aus den geplanten Analysen übereinstimmten.

Als das Projekt aufgrund unerwarteter Kontaminationen Verzögerungen erlebte, erhielt ILU einen Teilprototypen, um den Kultivierungsprozess zu optimieren. Später wurde ihnen der vollständige Prototyp übergeben, da sie über die Expertise zur Aufrechterhaltung einer kontaminationsfreien Kultivierung im kleineren Maßstab (Labormaßstab) verfügten.

Letztendlich war die produzierte Biomasse nicht ausreichend, um die Anforderungen des Projekts zur Versorgung der beiden Fütterungsversuche zu erfüllen. Daher beschaffte DIL auf dem Markt etwas *Galdieria sulphuraria*, um den Fortschritt des Projekts ohne weitere Verzögerungen sicherzustellen. Die erworbene Biomasse wurde in den Räumlichkeiten von DIL analysiert und an Dr. Josef Frieling übergeben, der eng mit dem Landwirt zusammenarbeitete, um die Sicherheit der Schweinefütterungsversuche zu gewährleisten.

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

Die interdisziplinäre Natur des Projekts förderte einen kollaborativen Ansatz zwischen Forschungseinrichtungen und landwirtschaftlichen Akteuren, erleichterte den Wissenstransfer und stellte die praktische Umsetzbarkeit sicher. Regelmäßige Treffen, sowohl virtuell als auch in Präsenz, ermöglichten iterative Verbesserungen und eine flexible Anpassung an unvorhergesehene Herausforderungen, wodurch die Gesamtwirksamkeit des Projekts gestärkt wurde.

Der iterative Designprozess des Prototyps führte zu erheblichen Verbesserungen der Systemeffizienz und Benutzerfreundlichkeit. Es gab jedoch einige Herausforderungen während des Projekts, darunter:

- Verzögerungen bei der Materialbeschaffung und dem Prototypenbau, die den Projektzeitplan verlängerten.
- Mehrfache mikrobielle Kontaminationen in den Kultivierungsversuchen, die zusätzliche Forschungsanstrengungen zur Optimierung der Sterilisations- und Kontaminationspräventionsstrategien erforderlich machten.

- Schwankungen in der Nährstoffzusammensetzung von Nebenprodukten, die das Wachstum der Mikroalgen beeinträchtigten und Anpassungen des Hydrolyseprozesses erforderten.

Um sicherzustellen, dass die Schweinefütterungsversuche reibungslos und ohne weitere Verzögerungen durchgeführt werden konnten, war es letztendlich notwendig, bereits verfügbare Biomasse zu beschaffen.

Da dieses Projekt als Konsortium durchgeführt wurde, waren die Rollen innerhalb der OG flexibel und passten sich den aktuellen Anforderungen an:

- ILU konzentrierte sich zunächst auf die Entwicklung von Protokollen, übernahm später jedoch die Prototypentests aufgrund ihrer Expertise.
- DIL leitete anfangs den Prototypenbau, unterstützte später jedoch ILU bei der Kontaminationskontrolle.
- Die Beteiligung der Landwirte nahm während der Fütterungsversuche erheblich zu, da sie direktes Feedback zur praktischen Integration von Mikroalgen in Schweinefutter gaben.

Dieser adaptive Ansatz stellte sicher, dass Herausforderungen effektiv bewältigt wurden und die Projektziele erfolgreich umgesetzt werden konnten.

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

Weitere Partnerschaften werden derzeit geprüft, um den Prototyp zu skalieren und die Betriebsprotokolle weiterzuentwickeln. Zusätzliche Finanzierungsquellen und Kommerzialisierungsstrategien werden in Betracht gezogen.

2.4. Ergebnisse des Innovationsprojektes

2.4.1. Zielerreichung

Erreichte Schlüsselziele umfassen:

- Das Projekt zeigte, dass hydrolysierte landwirtschaftliche Nebenprodukte als effektive Nährstoffquelle für *Galdieria sulphuraria* dienen können.
- Es ist möglich, einen kostengünstigen und einfach zu bauenden Prototyp für Mikroalgenproduktion und Hydrolyse mit marktüblichen Materialien zu entwickeln.
- Das modulare Design des Systems ermöglicht Skalierbarkeit (nicht getestet) und macht es für Betriebe unterschiedlicher Größe anpassbar.

- Das optimierte Kultivierungsprotokoll verbesserte die Biomasseausbeute und den Nährstoffgehalt, wodurch Mikroalgen eine praktikable alternative Proteinquelle für Tierfutter darstellen.
- Die Forschung unterstrich die Bedeutung der Kontaminationskontrolle in offenen Kultivierungssystemen.
- Die Fütterungsversuche zeigten, dass die Supplementierung mit Mikroalgen weder die Schweinegesundheit noch die Fleischqualität negativ beeinflusst, was ihre Verwendung in der kommerziellen Landwirtschaft unterstützt.

2.4.2. Abweichungen zwischen Planung und Ergebnis

Verzögerungen bei der Beschaffung von Ausrüstung und unerwartete Kontaminationsprobleme erforderten Protokollanpassungen, was zu einer verlängerten Testphase führte. Später machten mikrobielle Kontaminationen in den Kultivierungsversuchen zusätzliche Forschungsarbeiten zur Optimierung der Sterilisation und Prävention notwendig. Schließlich führten Schwankungen in der Nährstoffzusammensetzung des Hydrolysats zu Inkonsistenzen beim Mikroalgenwachstum und möglicherweise zu späteren Kontaminationsproblemen.

2.4.3. Projektverlauf (evtl. Fotos)

Das AlgoWert-Projekt startete mit einem Kick-off-Meeting am 5. April 2022, bei dem alle Mitglieder anwesend waren, entweder online (über Microsoft® Teams) oder persönlich (im DIL e. V.), wie auf dem eingereichten Antrag vorgesehen (siehe Abbildung 1). Während des Treffens wurde der Antrag nochmals vorgestellt, damit sich alle Partner über die verschiedenen Aufgaben, Arbeitspakete und Fristen für Projektleistungen im Klaren sind.

Am 7. Juni 2022 fand ein weiteres Treffen statt, um die Spezifikationen der für den Prototypenbau benötigten Ausrüstung zu besprechen. Während dieses Treffens erkundigte sich die Abteilung für Automatisierung des DIL e. V. bei ILU nach einigen technischen Eigenschaften der Materialien für den Prototyp. Nach Einigung auf die Komponenten wurden diese bestellt und bei ihrer Ankunft im DIL e. V. eingelagert.

Zwischen August 2022 und Januar 2023 fanden zwei wichtige Treffen statt: Am 27. September trafen sich Mitglieder von DIL und ILU, um Details zur Mikroalgenkultivierung und zur Feinabstimmung der Konstruktion zu besprechen. Am 14. Januar folgte ein zweites Treffen mit allen Mitgliedern zur Besprechung des Projektstatus. Im August 2023 (Monat 17) fand ein weiteres Konsortialtreffen am 1. Juni statt, um den Stand und die Planung für die kommenden Monate zu besprechen. Im August 2024 war das Projekt im Monat 29. Die Projektplanung blieb weiterhin maßgeblich, und Anpassungen im experimentellen Design wurden diskutiert, um die Nutzung des Prototyps vor Ort zu verbessern. Im Februar 2025, Monat 35, wurde das Projekt fortgesetzt – weiterhin basierend auf der initialen Struktur aus dem Kick-off-Treffen vom April 2022.

Abrechnungszeitraum	2022			2023			2024			2025			
Monat	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	
Projektaufzeit (Monate)	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	25-27	28-30	31-33	34-36	
Arbeitspaket 1 Projektkoordination	[Green bar with smiley icons at 1-3, 10-12, 19-21, 28-30, 34-36]												
Arbeitspaket 2 Prototypenbau	[Green bar]			[Orange dot]									
Arbeitspaket 3 Integrierung des Prototyps					[Green bar]			[Orange dot]	[Orange dot]				
Arbeitspaket 4 Einbindung der Mikroalgenkultivierung	[Orange dot]	[Green bar]					[Orange dot]						
Arbeitspaket 5 Nachhaltigkeitsbetrachtung					[Green bar]								[Orange dot]
Arbeitspaket 6 Öffentlichkeitsarbeit				[Orange dot]	[Green bar]						[Orange dot]		

-  Meilensteine
-  Berichte
-  Face-2-Face Meetings (Kick-Off, Halbzeit-, Abschluss-Meeting)

Abbildung 1 – Arbeits- und Zeitplan der OG „AlgoWert“.

Beachten Sie die Kommunikation zwischen der Landwirtschaftskammer und dem DIL e. V. (Projektkoordinator). Dabei wurde vereinbart die Mittel von 2022 auf 2023 zu übertragen. Dieser Antrag war auf einige Verzögerungen bei der Beschaffung von Geräten und Lieferungen an die verschiedenen Partner zurückzuführen, die die Projektmeilensteine und -termine verzögerten. Die Landwirtschaftskammer nahm den Vorschlag an, und die Erstellung und Einreichung des ersten Berichts (geplant für September 2022) wurde ausgesetzt, da aufgrund der oben genannten Verzögerungen nichts zu berichten war.

A. AP 1 – Projektkoordinierung und -management – Zusammenfassung (M1-36)

Mehrere Zwischenberichte wurden im Laufe des Projekts verfasst und eingereicht – jeweils im Februar und August der Jahre 2023, 2024 und 2025 – und dokumentieren kontinuierlich die Projektfortschritte und -entwicklungen. Ursprünglich war die Erstellung eines Zwischenberichts für September 2022 vorgesehen, wurde jedoch aufgrund von Verzögerungen bei der Beschaffung von Geräten und Materialien – unter anderem bedingt durch die COVID-19-Pandemie – und damit einhergehender Verschiebung der Projektmeilensteine ausgesetzt. Die Landwirtschaftskammer genehmigte den Vorschlag, die Mittel von 2022 auf 2023 zu übertragen.

Ein besonderer Aspekt in diesem Arbeitspaket war der Austritt des OG-Mitglieds Herrn Ralph Schroeder aus finanziellen und persönlichen Gründen. Als Ersatz wurde Herr Ludger Frieling als neuer Landwirt gewonnen und der Landwirtschaftskammer gemeldet. Dieser Wechsel führte zu einer leichten zeitlichen Verschiebung der geplanten Versuche, brachte jedoch keine wesentlichen Risiken für die Umsetzung des Projekts mit sich.

Im Rahmen dieses Arbeitspakets hat DIL regelmäßig Updates zu den laufenden Experimenten mit dem Prototypen bereitgestellt. Zu verschiedenen Zeitpunkten (zwischen Projektmonat M13 bis M23) wurden zudem potenzielle Anpassungen des experimentellen Designs diskutiert, um die Nutzung des Prototyps vor Ort zu verbessern.

Zum Stand der Aufgaben siehe Tabelle 1. Eine wichtige Maßnahme war die Vereinbarung mit der Landwirtschaftskammer zur Übertragung von Mitteln von 2022 auf 2023 aufgrund von Verzögerungen bei der Gerätebeschaffung und Lieferung, die Projektmeilensteine verzögerten. Deshalb wurde der ursprünglich für September 2022 geplante Bericht ausgesetzt, da es nichts zu berichten gab. Der aktuelle Bericht umfasst somit die ersten anderthalb Jahre Projektlaufzeit.

Tabelle 1 - Aktueller Stand der Aufgaben des Projekts „AlgoWert“ für die ersten anderthalb Jahre.

Time	Partner	Tasks
Apr 2022 – Jul 2022	DIL	Organisation des Kick-Off-Meetings, ein digitales Treffen zum Abgleich der Stände in den Arbeitspaketen und zur Sicherstellung der Einhaltung des Zeitplans (Juli)
		Bei Abweichung des Zeitplans: Beurteilung der Schwere der Abweichung, gegebenenfalls Ergreifung von Maßnahmen und/oder Entwicklung einer alternativen Strategie
		Kommunikation mit der Landwirtschaftskammer, Mittelabruf und Mittelauszahlung an die Projektpartner
	ILU	Vorbereitung der Veröffentlichung auf Grundlage der Zusammenfassung des verfügbaren Wissens zur Einbindung externer Akteure und erster Verbreitung. Teilnahme am Kick-Off-Meeting und dem digitalen Projekttreffen
	Weitere OG-Mitglieder	Teilnahme am Kick-Off-Meeting und dem digitalen Projekttreffen
Aug 2022 – Jan 2023	DIL	Erstellung und fristgerechte Abgabe des Zwischenberichts incl. wiss. Datenauswertung
		Kommunikation mit der Landwirtschaftskammer, Mittelabruf und Mittelauszahlung an die Projektpartner
		Organisation von zwei digitalen oder vor Ort Treffen zum Abgleich der Stände in den Arbeitspaketen und zur Sicherstellung der Einhaltung des Zeitplans (Okt+Jan)
		Bei Abweichung des Zeitplans: Beurteilung der Schwere der Abweichung, gegebenenfalls Ergreifung von Maßnahmen und/oder Entwicklung einer alternativen Strategie
		Teilnahme an den dreimonatigen digitalen Projekttreffen

	Weitere OG-Mitglieder	Lieferung von Informationen für den Zwischenbericht und der Belege für den Mittelabruf Verbreitung und Kommunikation des Wissens mit externen Stakeholdern
Feb 2023 – Jul 2023	DIL	Erstellung und fristgerechte Abgabe des Zwischenberichts incl. wiss. Datenauswertung
		Kommunikation mit der Landwirtschaftskammer, Mittelabruf und Mittelauszahlung an die Projektpartner
		Organisation des Halbzeit-Meetings (Juni 2023) und eines digitalen Treffens zum Abgleich der Stände in den Arbeitspaketen und zur Sicherstellung der Einhaltung des Zeitplans (Marz 2023)
		Bei Abweichung des Zeitplans: Beurteilung der Schwere der Abweichung, gegebenenfalls Ergreifung von Maßnahmen und/oder Entwicklung einer alternativen Strategie
	Weitere OG-Mitglieder	Lieferung von Informationen für den Zwischenbericht und der Belege für den Mittelabruf
		Teilnahme am Halbzeit-Meeting und an dem digitalen Projekttreffen Verbreitung und Kommunikation des Wissens mit externen Stakeholdern
Aug 2023 – Jan 2024	DIL	Erstellung und fristgerechte Abgabe des Zwischenberichts incl. wiss. Datenauswertung
		Kommunikation mit der Landwirtschaftskammer, Mittelabruf und Mittelauszahlung an die Projektpartner
		Organisation der Treffen vor Ort oder digitales mit den Bauern und Partnern (Aug+Nov)
		Bei Abweichung des Zeitplans: Beurteilung der Schwere der Abweichung, gegebenenfalls Ergreifung von Maßnahmen und/oder Entwicklung einer alternativen Strategie
	Weitere OG-Mitglieder	Lieferung von Informationen für den Zwischenbericht und der Belege für den Mittelabruf
		Teilnahme an dem digitalen oder vor Ort Projekttreffen
Feb 2023 – Jul 2023	DIL	Erstellung und fristgerechte Abgabe des Zwischenberichts incl. Wiss. Datenauswertung
		Kommunikation mit der Landwirtschaftskammer, Mittelabruf und Mittelauszahlung an die Projektpartner
		Organisation des Halbzeit-Meetings (Juni 2023) und eines digitalen treffen zum Abgleich der Stände in den Arbeitspaketen und zur Sicherstellung der Einhaltung des Zeitplans (Marz 2023)
		Bei Abweichung des Zeitplans: Beurteilung der Schwere der Abweichung, gegebenenfalls Ergreifung von Maßnahmen und/oder Entwicklung einer alternativen Strategie
	Weitere OG-Mitglieder	Lieferung von Informationen für den Zwischenbericht und der Belege für den Mittelabruf
		Teilnahme am Halbzeit-Meeting und an dem digitalen Projekttreffen Verbreitung und Kommunikation des Wissens mit externen Stakeholdern
Aug 2023 – Jan 2024	DIL	Erstellung und fristgerechte Abgabe des Zwischenberichts incl. wiss. Datenauswertung
		Kommunikation mit der Landwirtschaftskammer, Mittelabruf und Mittelauszahlung an die Projektpartner
		Organisation der Treffen vor Ort oder digitales mit den Bauern und Partnern (Aug+Nov)
		Bei Abweichung des Zeitplans: Beurteilung der Schwere der Abweichung, gegebenenfalls Ergreifung von Maßnahmen und/oder Entwicklung einer alternativen Strategie
	Weitere OG-Mitglieder	Lieferung von Informationen für den Zwischenbericht und der Belege für den Mittelabruf
		Teilnahme an dem digitalen oder vor Ort Projekttreffen

Feb 2024 – Juli 2024	DIL	Erstellung und fristgerechte Abgabe des Abschlussberichts incl. wiss. Datenauswertung
		Kommunikation mit der Landwirtschaftskammer, Mittelabruf und Mittelauszahlung an die Projektpartner
		Organisation der Treffen vor Ort oder digitales mit den Bauern und Partnern (Feb+Mai)
		Bei Abweichung des Zeitplans: Beurteilung der Schwere der Abweichung, gegebenenfalls Ergreifung von Maßnahmen und/oder Entwicklung einer alternativen Strategie
	Weitere OG-Mitglieder	Lieferung von Informationen für den Abschlussbericht und der Belege für den Mittelabruf
		Teilnahme an dem digitalen oder vor Ort Projekttreffen
		Lieferung von Information für die Publikation der Ergebnisse
*Obwohl keine spezifischen Workshops für externe Interessengruppen organisiert wurden, wurde das Projekt einigen externen Interessengruppen vorgestellt: General Mills, Elea GmbH, GNT GmbH während der DIL Technologie Days, beim BAMS-Symposium 2023 und Chipro GmbH während separater Besuche. Darüber hinaus wurde es während des Besuchs an der Uni Laval in Quebec und während der Green Food Tech 2023 Konferenz in Montreal präsentiert.		

Zwischen August 2022 und Januar 2023 fanden zwei wichtige Projekttreffen statt: Am 27. September trafen sich Mitglieder von DIL und ILU zur Abstimmung über mikroalgenkulturspezifische Details. Am 14. Januar folgte ein weiteres Treffen mit allen OG-Mitgliedern zur Projektstatusbesprechung.

Im August 2023 (M17) hat DIL e. V., als koordinierender Projektpartner, die Projektfortschritte weiter überwacht. Die Aufgaben aus dem Antrag wurden fortlaufend bearbeitet. Während des Berichtszeitraums (M13–18) wurden kontinuierlich Updates zu den Experimenten mit dem Prototyp geteilt. Auch wurden zu diesem Zeitpunkt mögliche Änderungen am experimentellen Design diskutiert, um die Praxistauglichkeit des Systems zu erhöhen. Ein bedeutendes Ereignis war der Austritt des OG-Mitglieds Herrn Ralph Schroeder aus finanziellen und persönlichen Gründen. Als Ersatz wurde Herr Ludger Frieling gewonnen, was der Landwirtschaftskammer gemeldet wurde. Die Versuche wurden dadurch leicht verschoben, jedoch ist die Projektumsetzung nicht gefährdet.

Im Februar 2024 (M23) wurden die Koordinierungsaufgaben wie geplant fortgeführt. Die OG traf sich regelmäßig, und DIL e. V. teilte kontinuierlich Updates über die laufenden Experimente mit dem Prototyp. Die Verbesserungsvorschläge zum experimentellen Aufbau wurden weiterverfolgt, um die Integration in den Betriebsalltag der Landwirte zu vereinfachen.

Im M29 war das DIL e. V. weiterhin federführend für die Koordination der Projektaktivitäten. Die im Antrag festgelegten Aufgaben wurden planmäßig verfolgt. Die Kommunikation mit der Landwirtschaftskammer wurde aufrechterhalten, die vierteljährlichen Treffen fanden statt, und die Plattform für den Austausch unter den OG-Mitgliedern wurde aktiv genutzt. Auch in diesem Zeitraum lieferte DIL kontinuierlich Updates zu den Versuchen mit dem Prototypen und berücksichtigte neue Ansätze zur Optimierung des experimentellen Designs.

Im Februar 2025 (M35) war das Projekt in seiner abschließenden Phase. Die Koordination durch DIL e. V. umfasste erneut die fristgerechte Kommunikation mit der Landwirtschaftskammer, die Sicherstellung des Mittelabrufs sowie die Vorbereitung des Abschlussberichts. DIL stellte fortlaufend Informationen zu den Prototypenversuchen bereit und diskutierte dabei ebenfalls mögliche letzte Änderungen am Versuchsaufbau für den landwirtschaftlichen Praxiseinsatz.

B. AP 2 – Design und Konstruktion des Prototyps (M1-12)

Ab August 2022 sind keine separaten Berichte mehr vorgesehen. Daher konzentriert sich diese Zusammenfassung auf die fünf analysierten Zwischenberichte.

Im Februar 2023 wurde berichtet, dass dieses Arbeitspaket das Ziel hat, einen kostengünstigen heterotrophen Kultivierungsprototypen zu entwickeln und zu bauen, der für landwirtschaftliche Betriebsbedingungen geeignet ist. Die Verantwortung für dieses Arbeitspaket liegt federführend beim DIL e. V., wobei die Automatisierungsabteilung für den Bau des Prototyps zuständig ist. Weitere Informationen zum der Aufgaben sollten ursprünglich in Tabelle 2 enthalten sein. Der Meilenstein 2.1 „Prototyp entwickelt und bereit für Betrieb und Transport“ ist nahezu abgeschlossen – es fehlen nur noch Tests und die Anpassung der Kultivierungsbedingungen vom Labor- auf den Pilotmaßstab. Diese Versuche sollten zwischen der zweiten Februarhälfte und der ersten Märzhälfte durchgeführt werden. Nach erfolgreicher Optimierung der Parameter sollte der Prototyp transportbereit sein. Der Status der Komponenten ist in Abbildung 2 dokumentiert.

Tabelle 2 – Aktueller Stand der Projektaufgaben „AlgoWert“, Arbeitspaket 2.

Time	Partner	Tasks
Apr 2022 – Jul 2022	DIL	Entwicklung des endgültigen Designs des Prototyps
		Bestellung der Komponenten des Prototyps
		Beginn der Konstruktion der Komponenten in einer Einheit
	ILU	Bereitstellung variabler Spezifikationen für verschiedene heterotrophe Mikroalgen, die der Prototyp sicherstellen soll
		Prüfung der Prototypkomponenten auf Eignung zur heterotrophen Mikroalgenkultivierung
Aug 2022 – Jan 2023	DIL	Fertigstellung des Prototypenbaus
		Testen der Funktionalität des Prototyps
		Messen und Aufzeichnen der Ressourcen- und Verbrauchsmaterialliste für die Ökobilanz (für Arbeitspaket 6)
	ILU	Entwicklung der Anwendungsprotokolle für den entwickelten und gebauten Prototyp



Abbildung 2 – Foto des vom DIL e. V. für das Projekt AlgoWert.

Im August 2023 war der Prototyp fertiggestellt, und der Meilenstein 2.1 als erreicht markiert. Dennoch wurden weitere Änderungen am System in Erwägung gezogen, um die Nutzung für Landwirte zu vereinfachen. Insbesondere wurde daran gearbeitet, die Zahl der Prozessschritte zur Mikroalgenproduktion zu reduzieren, um sie besser in den Arbeitsalltag zu integrieren. Die Datenerhebung für die Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) sollte im September beginnen, sobald die Systemoptimierung abgeschlossen ist.

Im Februar 2024 war das Arbeitspaket offiziell abgeschlossen. Inzwischen arbeitete DIL e. V. eng mit ILU e. V. zusammen, um eine baugleiche Kopie des Prototyps für ILU herzustellen. Ziel war es, parallele Versuche zu ermöglichen und die Zahl der Tests sowie die Anpassung der Parameter für die Mikroalgenkultivierung zu beschleunigen.

Im August 2024 wurde bestätigt, dass beide Institutionen – DIL e. V. und ILU e. V. – über Schwesterprototypen verfügen. Diese wurden im Betrieb getestet und dienten als Grundlage für die Optimierung der Versuchseinstellungen sowie der Produktionsparameter für eine erfolgreiche Mikroalgenkultivierung.

Im Februar 2025 wurde berichtet, dass die beiden entwickelten Prototypen vollständig bei ILU in Betrieb sind und aktiv zur Produktion von Mikroalgen für die geplanten Schweineversuche verwendet werden. Die Institutionen arbeiteten weiterhin zusammen an der Feinabstimmung der Kultivierungsparameter sowie der Versuchsdurchführung zur Sicherstellung der Prozessstabilität.

C. AP 3 – Integration des Prototyps, Demonstrationsversuche und Biomasseverwertung (M12-30)

Im Februar 2023 lag der Fokus auf zwei zentralen Aspekten des Projekts: zum einen auf der Integration des Prototyps in die tägliche Routine einer Schweinefarm und zum anderen auf der Weiterentwicklung und Anpassung des Prototyps an betriebliche Anforderungen. Die praktische Umsetzung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb war für den Zeitraum März bis September 2023 geplant, allerdings hatten die konkreten Arbeiten zu diesem Zeitpunkt noch nicht begonnen. Ralf Schroeder war ursprünglich als verantwortlicher Landwirt vorgesehen. Die beiden Meilensteine – 3.1 (Inbetriebnahme des Prototyps am 01.04.2023) und 3.2 (Abschluss der Fütterungsversuche am 01.08.2024) – waren noch nicht erreicht und sollten in späteren Berichten behandelt werden.

Tabelle 3 - Current status of "AlgoWert" project tasks, work package 3.

Time	Partner	Tasks
Feb 2023 – Jul 2023	Farmer	Entwicklung des Prototypen-Implementierungsplans (Zeitplan, Reststoffe aufgebracht, Nutzung und Lagerung der Produkte)
		Installation und Betrieb des Prototyps unter den Bedingungen einer Farm
		Tägliche Dokumentation der Prozessparameter hinsichtlich Hydrolyseeffizienz und Biomasseausbeute
	Weitere OG-Mitglieder	Lieferung des Prototyps für die Erprobung
		Bereitstellung der Anwendungshinweis
		Unterstützung bei der Installation und Kultivierung vor Ort
Aug 2022 – Jan 2023	Farmer	Testen des Prototyps
		Tägliche Dokumentation der Prozessparameter hinsichtlich Hydrolyseeffizienz und Biomasseausbeute
		Identifikation von Schwachstellen zur Optimierung der Verfahrenstechnik, Behebung eventueller Fehler
		Definition des Umfangs und der Grenzen der Systemanwendung und Integration in eine tägliche Routine
		Start der Schweinemastversuche mit der produzierten Algenbiomasse
	Weitere OG-Mitglieder	Bereitstellung der Anwendungshinweise
		Unterstützung bei der Installation und Kultivierung vor Ort
		Unterstützung bei der Behebung von Engineering- oder Prozessfehlern
Feb 2023 – Jul 2023	Farmer	Entwicklung des Prototypen-Implementierungsplans (Zeitplan, Reststoffe aufgebracht, Nutzung und Lagerung der Produkte)
		Installation und Betrieb des Prototyps unter den Bedingungen einer Farm
		Tägliche Dokumentation der Prozessparameter hinsichtlich Hydrolyseeffizienz und Biomasseausbeute
	Weitere OG-Mitglieder	Lieferung des Prototyps für die Erprobung
		Bereitstellung der Anwendungshinweis
		Unterstützung bei der Installation und Kultivierung vor Ort
Aug 2023 – Jan 2024	Farmer	Testen des Prototyps
		Tägliche Dokumentation der Prozessparameter hinsichtlich Hydrolyseeffizienz und Biomasseausbeute
		Identifikation von Schwachstellen zur Optimierung der Verfahrenstechnik, Behebung eventueller Fehler
		Definition des Umfangs und der Grenzen der Systemanwendung und Integration in eine tägliche Routine
		Start der Schweinemastversuche mit der produzierten Algenbiomasse
	Weitere OG-Mitglieder	Bereitstellung der Anwendungshinweise
		Unterstützung bei der Installation und Kultivierung vor Ort
		Unterstützung bei der Behebung von Engineering- oder Prozessfehlern

		Identifizierung von Tierschutzverhalten
Feb 2024 – Juli 2024	SW	Abschlusstests auf den Farmen
		Tägliche Dokumentation der Prozessparameter hinsichtlich Hydrolyseeffizienz und Biomasseausbeute
		Integration des entwickelten Prototyps und der produzierten Biomasse in die landwirtschaftliche Wertschöpfungskette (Identifizierung von Stakeholdern, die an der Nutzung des hochskalierten Prototyps und der Biomasse interessiert sind)
		Schweinemastversuche mit der produzierten Algenbiomasse
	Weitere OG-Mitglieder	Bereitstellung der Anwendungshinweise
		Unterstützung bei Schweinemastversuche
		Identifizierung von Tierschutzverhalten
		Unterstützung bei der Organisation des Workshops

Parallel dazu wurde im Februar 2023 daran gearbeitet, den Prototypen fertigzustellen und auf die Anforderungen für den Einsatz unter Praxisbedingungen vorzubereiten. Der Meilenstein 3.1 „Prototyp entwickelt und bereit für Betrieb und Transport“ war nahezu erreicht. Die abschließenden Tests zur Erprobung und Anpassung der Kultivierungsbedingungen vom Labormaßstab auf den Pilotmaßstab standen noch aus und waren für den Zeitraum Ende Februar bis Mitte März vorgesehen.

Im August 2023 begann die Integration des Prototyps in den praktischen Betrieb einer Schweinefarm. Der Landwirt übernahm dabei die Hauptverantwortung für den Betrieb, die tägliche Dokumentation und die Bewertung des Systems. Die ursprünglich für April 2024 geplante Inbetriebnahme des Prototyps (Meilenstein 3.1) verzögerte sich aufgrund von Konstruktionsproblemen. Dennoch wurde beschlossen, die erste Fütterungsrunde wie geplant von September bis Dezember 2023 durchzuführen. In dieser ersten Fütterungsphase wurden die Mikroalgen in den Einrichtungen von DIL produziert und anschließend an die Farm geliefert. Die im Labor analysierte Mikroalgenbiomasse diente als Grundlage für die Erstellung der Futterzusammensetzung für die Schweine. Parallel dazu wurde das Verhalten der Tiere und ihre Reaktion auf das neue Futtermittel dokumentiert.

Ein zentrales Ergebnis dieser Phase war die schrittweise Optimierung des Prototyps. Das erste Setup bestand aus einer Mühle, zwei Bioreaktoren, einem Separator und einem Sedimentationstank. Im weiteren Verlauf wurde das System angepasst: zunächst durch das Weglassen der Mühle, da feinere Rückstände verwendet wurden, und später durch den Ersatz des Separators durch ein Sedimentationssystem. Diese Umstellung führte zu einer Reduktion des Säure- und Laugenbedarfs um rund 80 % und ermöglichte einen effizienteren, kontinuierlichen Betrieb. Die Ergebnisse bestätigten, dass Mikroalgen erfolgreich und stabil kultiviert und konzentriert werden konnten – ein wichtiger Schritt zur praktischen Umsetzung des Systems im landwirtschaftlichen Alltag.

Die Meilensteine dieses Arbeitspakets 3.1 "Der Prototyp wird am 01.04.2024 auf den Farmen in Betrieb genommen, um Biomasse zu produzieren" sind aufgrund von Verzögerungen bei den Versuchen und der Konstruktion und Optimierung des Prototyps verschoben worden. Der zweite Meilenstein 3.2 "Schweinefuttermastversuche abgeschlossen am 01.08.2024" wurde aufgeschoben, bis die vollständige Optimierung der Mikroalgenproduktion abgeschlossen ist. Im August 2024 wurde der erste Fütterungsversuch mit den getrockneten Mikroalgen von Aqualgae erfolgreich durchgeführt. Am 26.03.2024 wurden neun Versuchs- und neun Kontrollferkel mit BHZP-Genetik und unkopierten Schwänzen auf dem Betrieb des neu aufgenommenen OG-Mitglieds Ludger Frieling eingestellt. Herr Frieling übernahm die Aufgaben nach dem Ausscheiden von Herrn Ralph Schroeder aus persönlichen Gründen.

Aufgrund dieser Probleme bei der Biomasse-Produktion wurde beschlossen, den ersten Fütterungsdurchgang mit getrockneten Mikroalgen durchzuführen. Dafür wurden 200 kg *Galdieria sulphuraria* von Aqualgae aus Portugal erworben. Nach Vorlage der Unbedenklichkeitsbestätigung durch den Lieferanten hat das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) den Fütterungsversuch als nicht genehmigungspflichtig eingestuft.

Gem. Änderungsbescheid der Landwirtschaftskammer Niedersachsen wurde der Landwirtschaftsmeister Ludger Frieling als neues OG-Mitglied aufgenommen. Auf diesem Betrieb wurden am 26.03.2024 jeweils 9 Versuchs- und Kontrollferkel mit BHZP-Genetik und unkopierten Schwänzen aufgestellt, um neben den Leistungsdaten auch mögliche Unterschiede in Bezug auf Tierwohlparameter zu erfassen. Diese Tierschutzindikatoren sind im KTBL-Leitfaden für die Praxis (Schwein) definiert (siehe Abbildung 4). Die Ferkel wurden mit ähnlichen Lebendgewichten so verteilt, dass die Gruppen vergleichbare Durchschnittsgewichte aufwiesen. In Tabelle 3 sind die Einzelgewichte der Ferkel und die Verteilung auf die beiden Gruppen zum Zeitpunkt der Einstellung aufgeführt. Die für Wiegunen und Tierwohlbeurteilung erforderliche Einzeltiererkennung wurde über individuelle Ohrmarken ermöglicht (siehe Abbildung 4).



Abbildung 3 – Titelbild von "Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Schwein" von Lars Schrader, Antje Schubbert, Sally Rauterberg, Irena Czycholl, Christine Leeb, Martin Ziron, Joachim Krieter, Ute Schultheiß und Rita Zapf, 2. aktualisierte Auflage, 2020. Herausgegeben vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Online verfügbar unter https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tierwohl/Leitfaden2020_Sau_Saugferkel.pdf

Tabelle 3 – Einzelgewichte und Verteilung der Ferkel auf Versuchs- und Kontrollgruppen zum Zeitpunkt der Einstellung.

Versuchs-gruppe (Tier-Nr.)	Gewichte in kg bei Einstellung (26.03.2024)	Kontroll-gruppe (Tier-Nr.)	Gewichte in kg bei Einstellung (26.03.2024)
-------------------------------	---	-------------------------------	---

91	22,7	73	21,9
539	27,3	78	22,6
888	21,7	430	25,4
986	25,0	580	25,9
999	21,5	891	23,2
1001	26,0	928	23,0
1027	22,4	1044	26,0
1092	25,8	1063	21,3
1140	24,4	1091	26,8
Durchschnitt	24.1	Durchschnitt	24.0



Abbildung 4 – Individuelle Ohrmarken zur Einzeltiererkennung

Das Versuchsfutter enthielt die getrockneten Algen im Verhältnis 1:10 und wurde insbesondere hinsichtlich der Leistungsparameter Energie und Protein angepasst, um nahezu eine Gleichwertigkeit des Futters sicherstellen zu können. Aus Nachhaltigkeitsgründen konnte der Sojaanteil fast gänzlich ersetzt werden (Rezepturen siehe Tabelle 4 und Tabelle 5). Beide Futter wurden in pelletierter Form verabreicht. Der gesamte Mastdurchgang erfolgte mit nur einer Futterphase, da die zu beziehende Algenmenge auf 200 kg begrenzt und eine Mindestcharge seitens des Futtermittelherstellers von je 2 to vorgegeben war.

Tabelle 4 – Rezepturen des Versuchsfutters mit getrockneten Mikroalgen

		GS M 3 Kontrolle	GS M 3 Versuch
Nr	Bezeichnung	Anteil	Anteil
10000	Weizen 11,5%Rp/58%St.	10,00	15,00
10050	Weizenkleie fein	12,50	12,00
10200	Gerste 11%Rp/50%St	18,00	18,00
10206	Gerste gewalzt	5,00	5,00

10400	Roggen 8,5%Rp/52%St.	12,00	11,00
10406	Roggen gequetscht	10,00	12,00
10600	Triticale 57%St.	6,00	3,50
11800	Brotmehl	6,50	5,50
20000	Brasil - Soja Pellets 48 GVO	13,50	1,50
21500	Rapsextrakt. Schrot NON GMO	4,00	1,20
45000	Molkekonzentrat 50%	1,00	1,15
60000	Calciumc. fein (Futterkalk)	1,00	1,00
60100	Monocalciumphosphat	0,30	0,30
60230	Natriumchorid (Viehsalz)	0,15	0,15
60240	Magnesiumoxid 52%	0,05	0,05
70000	L-Lysin HCl	0,40	0,40
70100	Methionin-DL 99 %	0,09	0,05
70150	Threonin	0,13	
70202	Tryptophan	0,01	
70253	L-Arginin		0,06
71012	Vit.Konz. Schw. S 1/16329	0,02	0,02
71033	Vitamink. B/C	0,02	0,02
71053	Vitamin E 50	0,01	0,01
72050	Spuren - Schweine	0,30	0,30
73002	Axtra XB 201 TPT GS	0,01	0,01
73062	OptiPhos Plus 5000G	0,02	0,02
76010	Ameisensäure Propionsäure 80/20	0,50	0,50
79183	Alge Galdieria sulphuraria		10,00
79510	Betain 35% flü	0,03	0,03

Tabelle 5 – Nährstoffgehalte der Futterrezepte

Nr	Bezeichnung	Einheit	GS M 3 Kontrolle	GS M 3 Versuch
1	Trockenmasse	%	88,00	88,00
2	Rohasche	%	4,40	4,30
4	ME S 2010	MJ	12,80	12,80
30	Rohprotein	%	16,30	16,30
50	Rohfett	%	3,00	3,20
60	Rohfaser	%	4,90	4,90
80	Stärke	%	40,00	40,00
90	Calcium	%	0,56	0,56
95	Phosphor	%	0,46	0,46
105	Natrium	%	0,15	0,15
125	Kupfer-II-sulfat	mg	10,00	10,00
130	Kupfer gesamt	mg	10,00	10,00
135	Manganoxid	mg	90,00	90,00
145	Zink aus Zinkoxid	mg	45,00	45,00
153	Zink gesamt	mg	45,00	45,00
154	Na-Selen	mg	0,38	0,38
156	Selen gesamt	mg	0,38	0,38
165	Eisensulfat	mg	120,02	120,01

169	Jod	mg	1,80	1,80
201	Betain	mg	114,00	114,00
375	Lysin	%	1,10	1,10
376	Methionin	%	0,33	0,33
377	Meth/Cys	%	0,60	0,60
378	Threonin	%	0,70	0,70
379	Tryptophan	%	0,22	0,22
600	Vitamin A	I.E.	6300,00	6300,00
601	Vitamin B1	mg	2,54	2,54
602	Vitamin B2	mg	7,42	7,42
603	Vitamin B6	mg	6,85	6,85
604	Vitamin B12	mcg	49,08	49,08
605	Vitamin D3	I.E.	1938,46	1938,46
606	Biotin	mcg	48,46	48,46
607	Folsäure	mg	3,05	3,05
609	Niacin	mg	29,39	29,39
610	Calcium-D-Pantothenat (3a841)	mg	26,39	26,39
611	Vitamin C	mg	20,00	20,00
612	Vitamin E	mg	102,85	102,85
633	Phytase 6 (4a32)	FTU	1000,00	1000,00
651	Xylanase 1,4 (P tp100;Danisco, Kemzyme)	U	1220,00	1220,00
667	Glucanase (Danisco)	U	152,00	152,00
850	Propionsäure	mg	1000,00	1000,00
854	Ameisensäure	mg	3400,00	3400,00
997	Getreide	%	59,73	65,89
999	Gewicht	%	100,00	100,00

Die Tierbeurteilung aller 18 Schweine erfolgte 1 x wöchentlich. Dabei waren zu keinem Zeitpunkt tierschutzrelevante Auffälligkeiten erkennbar. Im gesamten Mastverlauf wurden keine Medikamente eingesetzt und es gab auch keine Tierverluste. In Bezug auf die Kotverschmutzung fiel auf, dass einige Kontrolltiere anfangs einen dünnen Kot aufwiesen, die auch zu Verschmutzungen geführt hat, während die Versuchstiere von Anfang an eine gute Kotkonsistenz aufwiesen. Im Verlauf der Mast verbesserte sich die Situation und alle Schweine waren letztlich wieder sauber.

Die Schweine wurden im 3-wöchigen Rhythmus einzeln gewogen. Waren die Versuchsschweine nach 3 Wochen durchschnittlich schwerer, holten die Kontrollschweine dieses 3 Wochen später wieder auf, um danach ihren Vorsprung etwas auszubauen (Abbildung 5). Insbesondere bedingt durch die Schließung des Vion-Schlachthofes in Emstek sowie der geringen Anzahl an Schweinen an den insgesamt 3 verschiedenen Schlachttagen, mussten diese beim Uhlen Schlachthof in Lengerich geschlachtet werden, der neben dem Schlachtgewicht nur noch die Magerfleischanteile der einzelnen Schweine bereitstellen konnte. Das angestrebte Gewicht zum Ende der Mast lag zwischen 120 und 130 kg. Gemäß Genehmigung durch die LAVES konnten auch die Schlachtkörper der Versuchsschweine für den menschlichen Verzehr in Verkehr gebracht werden. In Tabelle 6 sind alle in regelmäßigen Abständen erfassten Gewichte der 18 Schweine aufgeführt, dazu die entsprechenden täglichen Zunahmen und die Schlachtdaten. Trotz der tierindividuellen Schwankungen sind keine deutlichen Leistungsunterschiede zwischen den Gruppen erkennbar. Es wird spannend sein zu erfahren, ob sich dieser Trend auch im zweiten Fütterungsdurchgang mit frisch produzierten Mikroalgen bestätigt.

Leistungs- und Schlachtdaten Projekt "AlgoWert" 1. Fütterungsdurchgang

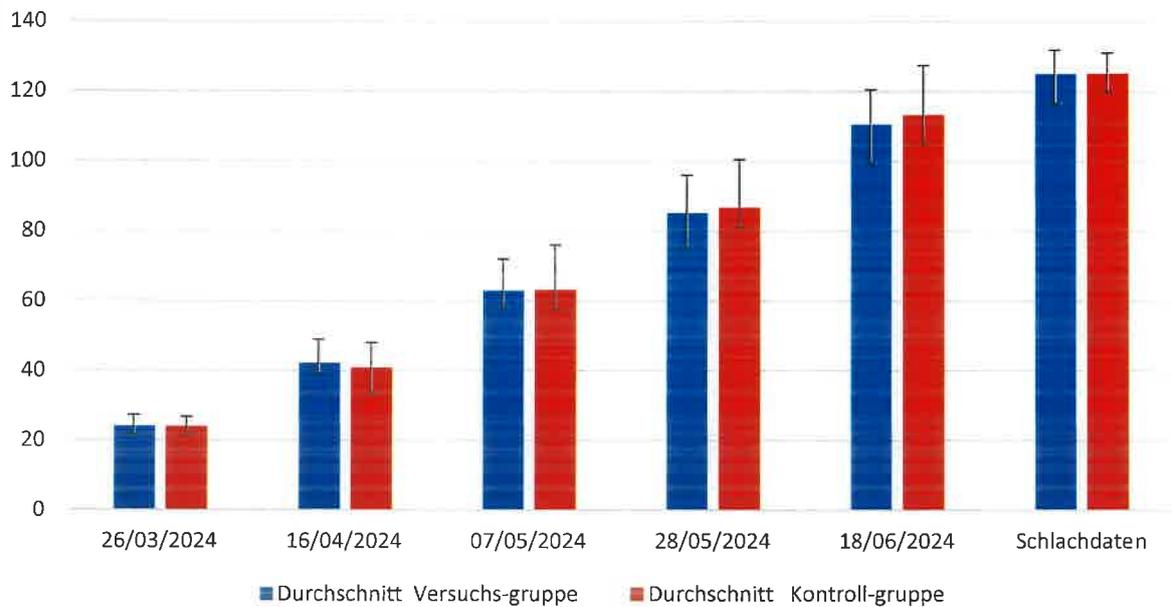


Abbildung 5 – Leistungs- und Schlachtdaten des Projekts "AlgoWert" im 1. Fütterungsdurchgang. Die blauen Balken zeigen die Durchschnittswerte der Versuchsgruppe und die roten Balken die Durchschnittswerte der Kontrollgruppe. Die Fehlerbalken repräsentieren die höchsten und niedrigsten Gewichte in jeder Kategorie.

Während die Versuchsschweine nach drei Wochen im Durchschnitt schwerer waren, holten die Kontrollschweine drei Wochen später auf und bauten ihren Vorsprung bis zum Schlachtermin, an dem die Versuchsschweine ein höheres Gewicht aufwiesen, leicht aus (Abbildung 6). Am Ende der Mast lag das Zielgewicht zwischen 120 und 130 kg. Mit der Genehmigung des LAVES durften die Schlachtkörper der Versuchsschweine auch für den menschlichen Verzehr in Verkehr gebracht werden. Tabelle 6 listet alle regelmäßig erfassten Gewichte der 18 Schweine mit den dazugehörigen Tageszunahmen und Schlachtdaten auf. Trotz tierindividueller Schwankungen zeigten sich keine signifikanten Leistungsunterschiede zwischen den Gruppen.

Leistungs- und Schlachtdaten Projekt "AlgoWert" 2. Fütterungsdurchgang

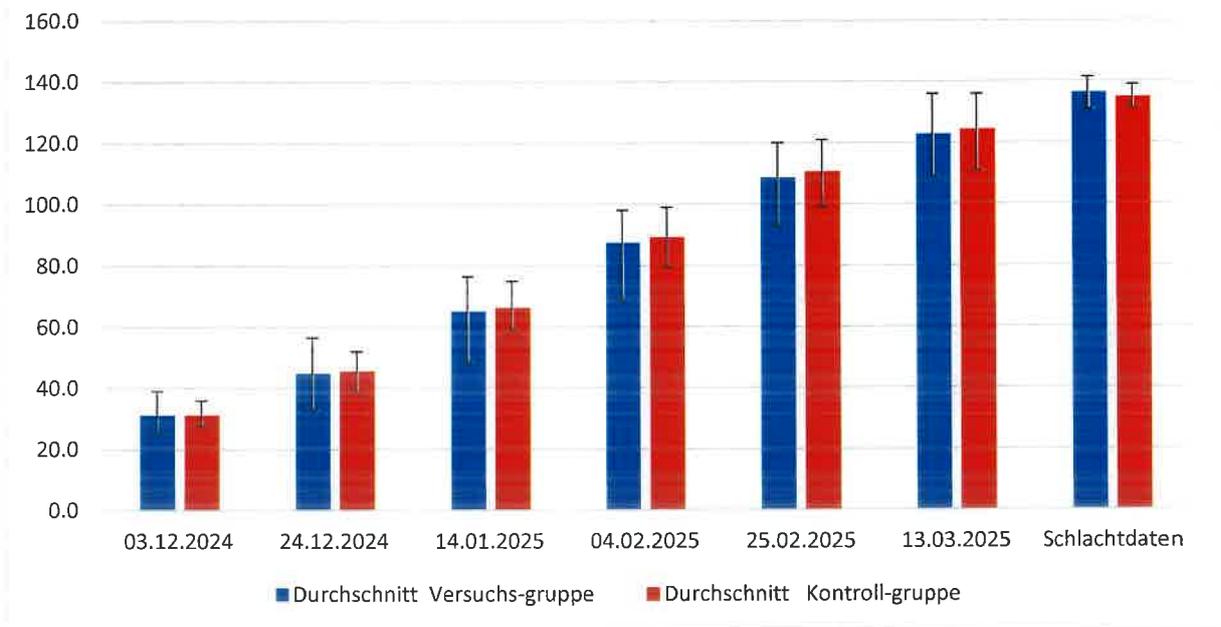


Abbildung 6 – Leistungs- und Schlachtdaten des Projekts "AlgoWert" im 1. Fütterungsdurchgang. Die blauen Balken zeigen die Durchschnittswerte der Versuchsgruppe und die roten Balken die Durchschnittswerte der Kontrollgruppe. Die Fehlerbalken repräsentieren die höchsten und niedrigsten Gewichte in jeder Kategorie.

Tabelle 6 – Gewichtsdaten der 18 Schweine in regelmäßigen Abständen

Tier-Nr.	Einstellung 26/03/2024	Wiegungen im 3-wöchigen Rhythmus						Schlachtdaten		
		2. Wiegung 16/04/2024	3. Wiegung 07/05/2024	4. Wiegung 28/05/2024	5. Wiegung 18/06/2024	Ablieferung 24.06.2024	Ablieferung 01.07.2024	Ablieferung 15.07.2024		
<i>Versuchs- gruppe</i>										
91	22.7	40.5	58.0	77.5	99.5					116.5
539	27.3	49.0	72.0	96.0	120.5	126.5				
888	21.7	39.5	62.5	86.5	116.0	121.0				
986	25.0	44.0	66.0	89.5	114.0		127.0			
999	21.5	39.5	60.5	84.0	106.5					128.0
1001	26.0	45.0	66.0	88.0	112.5				126.5	
1027	22.4	40.0	60.0	83.5	111.5				123.0	
1092	25.8	39.5	58.5	75.0	103.5					124.0
1140	24.4	42.0	63.0	86.0	110.5					132.0
Durchschnitt	24.1	42.1	62.9	85.1	110.5	123.8			125.5	126.9
<i>Kontroll-gruppe</i>										
73	21.9	38.0	60.0	85.0	109.5					127.0
78	22.6	38.0	58.5	81.0	111.0					131.0
430	25.4	40.0	59.0	82.0	113.0				123.0	
580	25.9	42.5	63.5	86.5	113.5				123.0	
891	23.2	41.5	66.5	91.0	117.0	121.50				
928	23.0	40.5	59.5	81.0	105.0					120.0
1044	26.0	48.0	76.0	100.5	127.5	131.00				
1063	21.3	33.5	57.5	83.0	107.0					123.5
1091	26.8	45.0	68.0	91.0	115.5				123.5	127.0
Durchschnitt	24.0	40.8	63.2	86.8	113.2	126.3			123.2	125.4

Die Entscheidung zum Kauf der getrockneten Algen bei Aqualgae erfolgte aus folgenden Gründen:

Begründung:

1. **Fachkenntnisse und Spezialisierung:** Der Ruf von Aqualgae bezüglich des Anbaus von Mikroalgen und ihre Spezialisierung auf die Bereitstellung von *Galdieria sulphuraria* sind hervorragend. Entsprechend stimmen deren Anforderungen mit unserem Projekt überein.
2. **Qualitätssicherung:** Aqualgaes Einsatz für Qualitätssicherung gewährleistet die Reinheit der Mikroalgen, was für unserer Fütterungsversuche mit Schweinen entscheidend ist.
3. **Kooperativer Ansatz:** Aqualgaes kooperativer Ansatz und ihre Flexibilität beim Erfüllen der einzigartigen Anforderungen unseres Projekts ermöglicht die rasche Projektdurchführung.
4. **Produktions- und Lieferkapazität:** Aqualgae hat die Fähigkeit gezeigt, die erforderlichen 200 kg zu produzieren und zu liefern, um die spezifische Menge für das Algowert-Projekt zu decken.

Vergleich mit anderen Lieferanten:

1. **UTEX Culture Collection of Algae (University of Texas, Austin):**
 - **Angebotenes Produkt:** Nur der Stamm, Produktcode UTEX 2919.
 - **Preis:** 125 \$ + Versand aus den USA.
 - **Berücksichtigung:** Während UTEX einen Stamm liefert, umfasst Aqualgaes umfassendes Angebot Fachkenntnisse im Anbau, was eine konsistente und zuverlässige Versorgung sicherstellt.
2. **Fermentalg (Libourne, Frankreich):**
 - **Angebotenes Produkt:** Fermentalg konzentriert sich auf die Extraktion von säurestabilem C-Phycocyanin aus dem Stamm.
 - **Berücksichtigung:** Fermentalg bietet ein anderes Produkt (Phycocyanin) an, nicht jedoch die Mikroalge selbst, was möglicherweise nicht den spezifischen Anforderungen unserer Fütterungsversuche entspricht.
3. **CD BioSciences Nacoful (Shirley, NY 11967, USA):**
 - **Angebotenes Produkt:** NACOFULTM GALDIERIA SULPHURARIA; *Galdieria*-Extrakt ähnlich wie *Spirulina*, reich an Phycocyanin.
 - **Berücksichtigung:** Bietet nur das Phycocyanin an, was nicht mit der Anforderung an die Mikroalge selbst übereinstimmt.
4. **Cusabio (Houston, TX 77054, USA oder Hubei Province, China):**
 - **Angebotenes Produkt:** Rekombinanter *Galdieria sulphuraria* ATP-Synthase-Untereinheit c, chloroplastisch (atpH); Vollständiges Protein, nicht die Mikroalge.
 - **Berücksichtigung:** Bietet ein vollständiges Protein an, nicht jedoch die Mikroalge, was nicht den spezifischen Anforderungen unseres Projekts entspricht.

Budgetüberlegung: Die Entscheidung, das Budget für Aqualgae zuzuweisen, wurde nach der Bewertung der Gesamtkosteneffizienz und der Übereinstimmung der Dienstleistungen von Aqualgae mit dem langfristigen Erfolg des Algowert-Projekts getroffen.

Fazit: Aqualgae ist der bevorzugte Lieferant aufgrund von Fachkenntnissen und Qualitätssicherung. Während andere Lieferanten spezifische Produkte oder Stämme anbieten, bietet Aqualgae umfassende Dienstleistungen und wettbewerbsfähige Preise an. Entsprechend sind sie die ideale Wahl für den Erfolg des Algowert-Projekts.

Die Mikroalgen werden während der ersten Fütterungsrunde in den Einrichtungen von DIL produziert und zur optimierten Funktionsweise des Prototyps und für die weitere Nutzung zum Landwirt

transportiert. Die bei den ersten erfolgreichen Versuchen produzierte Mikroalgenbiomasse wurde entnommen, und ihre Nährstoffeigenschaften werden in den Labors von DIL analysiert. Mit den Ergebnissen wird die Zusammensetzung des Futters für die Schweine entworfen.

(a) Vollständiger Prototyp und Funktionsweise

Während des Berichtszeitraums lag der Hauptfokus der Forschung darauf, den Bau des AlgoWert-Prototyps abzuschließen und laufende Versuche durchzuführen. Die Versuche begannen im April 2023, und einige Partner waren in der Anfangsphase involviert (Abbildung 7). Dies erforderte Beiträge von Ingenieuren, Projektmanagern und OG-Mitgliedern, die für die Mikroalgenkultivierung im Labor und die Verbreitung der Ergebnisse verantwortlich waren.



Abbildung 7 –Vorführung des AlgoWert-Prototyps für die OG-Mitglieder und beteiligten Interessengruppen (April).

Die ursprüngliche Einrichtung des AlgoWert-Prototyps bestand aus der Mühle, dem Bioreaktor I, dem Separator, dem Bioreaktor II und dem Sedimentationstank (Abbildung 8). Die Mühle wird für die Rückstände mit großer Partikelgröße eingesetzt, um die Partikelgröße zu reduzieren und die enzymatische Hydrolyse im Bioreaktor I zu verbessern. Bioreaktor I ist ein modifiziertes Kunststofffass mit einer Heizmantel (Temperaturbereich 30-45°C) und einem Rührwerk, das den pH-Wert von 2 aufrechterhalten kann (Abbildung 8). Solche Bedingungen ermöglichen die Vermeidung von Kontaminationen. Nach einer 24-stündigen Hydrolyse wird das Medium mit Lauge neutralisiert und über den Separator in feste und flüssige Fraktionen getrennt (Abbildung 9). Die feste Fraktion wird dann zur Behandlung in ein Fass geschickt, während die flüssige Fraktion weiter zur Mikroalgenkultivierung verwendet wird.

Die Mikroalgenkultivierung erfolgt im Bioreaktor II (Abbildung 10 und Abbildung 11). Um die Mikroalgen zu kultivieren, wird die flüssige Fraktion aus dem Separator mit Wasser gemischt (um die Nährstoffkonzentration zu reduzieren), Säure (um den pH-Wert auf 2 zu senken), Mikroalgen-Starterkultur und Melasse (eine Reststoffquelle für Kohlenstoff). Darüber hinaus wird die Temperatur im Bioreaktor II bei 45°C gehalten, was zusammen mit dem niedrigen pH-Wert Kontaminationen vermeidet.

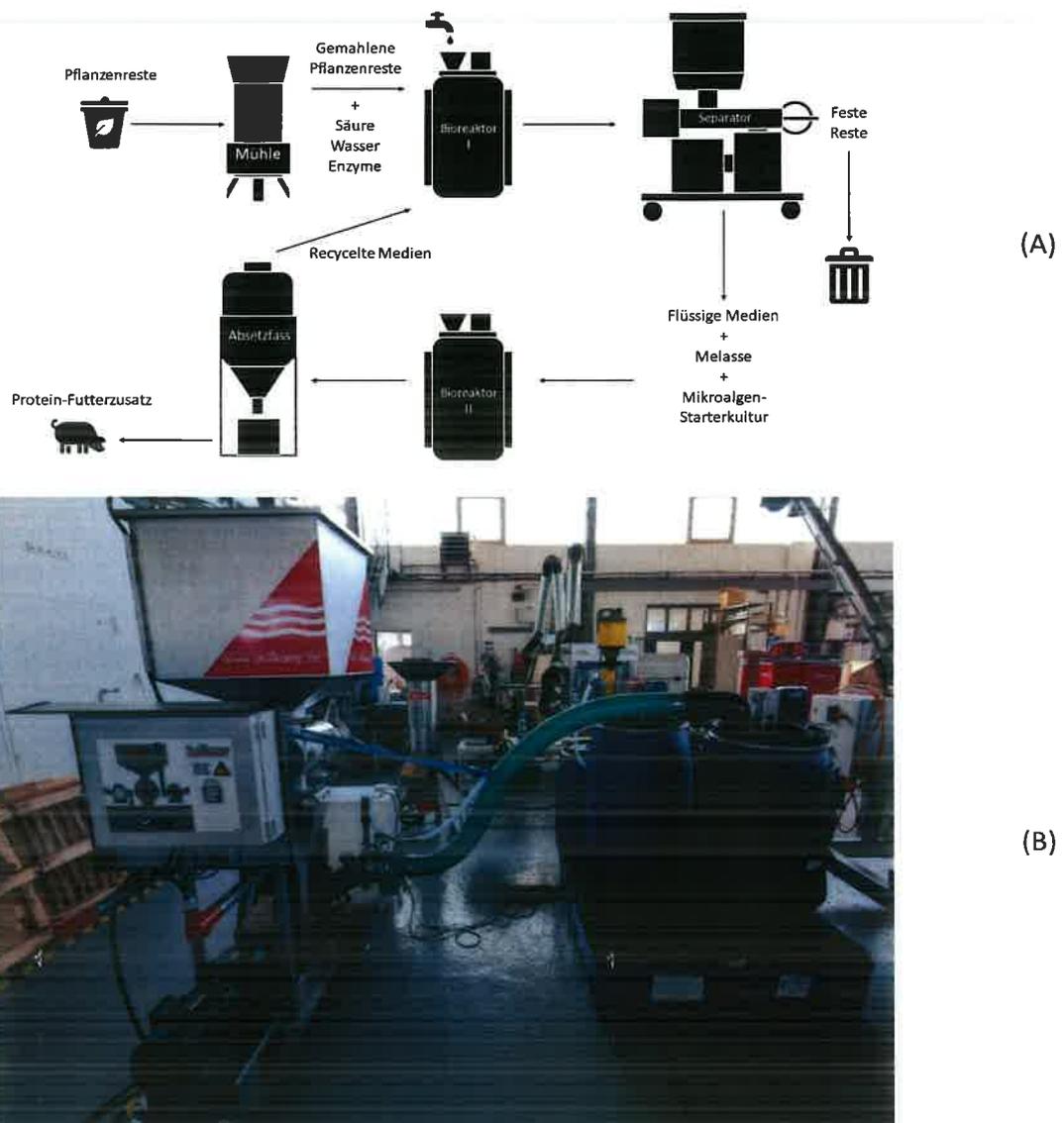


Abbildung 8 - Ursprüngliche Einrichtung des AlgoWert-Prototypenbetriebs: (A) Betriebsschema; (B) Foto des Prototyps im Betrieb.



Abbildung 9 - Hydrolysefäss mit Heizmantel und eine Vorrichtung zum Einfüllen trockener Rückstände.



(A)



(B)

Abbildung 10 – Die Trennung des hydrolysierten Mediums erfolgt mit einem Separator (A) in eine feste und flüssige Fraktion (die flüssige Fraktion wird in einem weißen Kunststoffbehälter gesammelt, und die feste Fraktion in einem weißen Kunststoffeimer). Die Trennung wird durch die Schneckenpresse erreicht, die das Medium durch das Gitter (B) pumpt und so große Partikel von der Flüssigkeit trennt.



(A)



(B)

Abbildung 11 – Mikroalgenkultivierungsfass mit Heizmantel, Rührwerk und sichtbarer gelber Pumpe (A); Zugabe von Säuren in das Kultivierungsfass zur Senkung des pH-Werts (B) (Sicherheitsmaßnahmen werden gemäß dem Sicherheitsprotokoll beachtet).

Die ersten Versuche hatten zum Ziel, die Möglichkeit des Einsatzes des Prototyps zur Kultivierung von Mikroalgen gemäß des von OG-Mitglied ILU e.V. entwickelten Protokolls, jedoch im Maßstab einer Pilotanlage unter aseptischen Bedingungen, zu zeigen. Daher dauerte die erste Mikroalgenkultivierung eine Woche, und die Konzentration der Mikroalgen erreichte (im Höchstwert) einen Wert von $3,26E+09$ Zellen/mL. Zur Konzentrierung der Mikroalgen wurde ein Sedimentationsbehälter verwendet (Abbildung 12). Das AlgoWert-Team erwog andere Methoden zur Mikroalgenkonzentration, stellte jedoch fest, dass diese aufgrund des geringen verfügbaren Maßstabs oder der Gegenwart von kleinen Pflanzenteilchen, die die Ausrüstung beschädigen könnten, ungeeignet waren. Durch das Sedimentieren des Mikroalgenkultivierungsmediums über einen

Zeitraum von 24 Stunden setzten sich die meisten Mikroalgen ab, da sie mit den schwebenden Sedimenten aus der Mischung nach unten gezogen wurden. Dies ermöglichte eine Trennung der meisten Mikroalgen mit einem low-tech Ansatz. Die konzentrierte Mikroalgenbiomasse wurde gesammelt, mit Lauge neutralisiert und für Analysen und mögliche weitere Verwendung als Schweinefutter gelagert. Der Überstand enthielt Säuren, überschüssige Nährstoffe und Enzyme, die für die weitere Hydrolyse des Mediums verwendet wurden und somit die erste zirkuläre Lösung für die Kultivierung über den Prototyp ermöglichten.

Nachdem das Potenzial zur Kultivierung von Mikroalgen im entwickelten Batch-Setup bestätigt wurde, setzte das Team die Versuche fort, um einen kontinuierlichen Betriebsmodus zu erreichen, der für die Bedingungen des Landwirts geeignet ist. Hierzu waren einige Anpassungen und Vereinfachungen erforderlich, um den Betrieb in einer landwirtschaftlichen Umgebung durchführbar zu machen. Auf Basis der in der Region verfügbaren Pflanzenrückstände wurde der Fokus auf gemahlene Roggenkleie gelegt. Die im Verfahren berücksichtigte Mühle muss daher nicht dauerhaft eingesetzt werden. Steht aber optional zur Verfügung wenn die Partikel größer als 1 cm ist. Dies führte zu einem zweiten Setup, bei dem die Roggenkleie direkt in den Bioreaktor I eingebracht wird (Abbildung 13). Weitere Versuche bestätigten, dass sich daraus keine nachteiligen Auswirkungen ergaben.



Abbildung 12 – Sedimentationstank für Mikroalgen-Medium, der in der Lage ist, niedrige pH-Werte aufrechtzuerhalten.

Ein weiteres Problem, das während der Versuche beobachtet wurde, hing mit dem hohen Einsatz von Säuren und Laugen zusammen (anfängliche pH-Senkung, Erhöhung des pH-Werts vor der Trennung über den Separator, Erhöhung des pH-Werts nach der Trennung, Neutralisation des Futters nach der Mikroalgenkultivierung). Dieser Ansatz führte dazu, dass für jeden 200-L-Kultivierungslauf etwa 10 Liter Säure und Lauge verwendet wurden. Diese Anforderungen wurden für die Mikroalgenkultivierung unter landwirtschaftlichen Bedingungen als nicht geeignet erachtet. Daher beschloss das Team, den

Trennungsansatz über den Separator als optional zu testen. Im dritten Verfahrenssetup wurde die flüssige und feste Fraktion des hydrolysierten Mediums in einem Sedimentationstank getrennt (Abbildung 13). Die Sedimentation der festen Partikel ermöglichte die direkte Verwendung des Überstandes zur Mikroalgenkultivierung (ohne Neutralisation). Nur ein kleiner Teil (25%) des hydrolysierten Mediums musste vor der Entsorgung neutralisiert werden. Daher bestand das dritte Setup des AlgoWert-Prototyps aus zwei Bioreaktoren und zwei Sedimentationstanks (Abbildung 14), was die Produktion optimierte und den Bedarf an Säuren und Laugen um 80% reduzierte. Solche Anpassungen erforderten weitere Versuche, zunächst im Batch-Betriebsmodus und später im kontinuierlichen Betrieb (Abbildung 15).

Die Anwendung des vereinfachten AlgoWert-Prototyps führte zu einem zuvor positiven Ergebnis (Abbildung 16), der es ermöglichte, Mikroalgen zu züchten und das konzentrierte Mikroalgen-Medium zu trennen. Gegenwärtig laufen weitere Versuche bezgl. der Trennung. Kontinuierliche Versuche befinden sich ebenfalls in Bearbeitung.

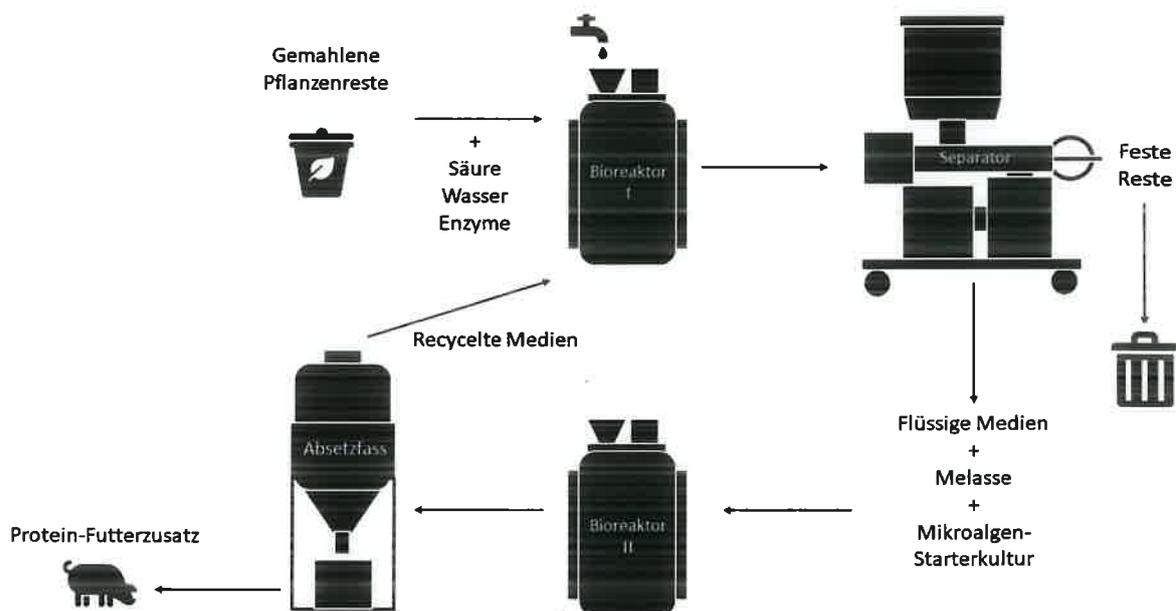


Abbildung 13 – Betriebsschema mit der Mühle als optionalem Verarbeitungsschritt und Pflanzenrückständen, die direkt in den Bioreaktor I eingeschlossen sind.

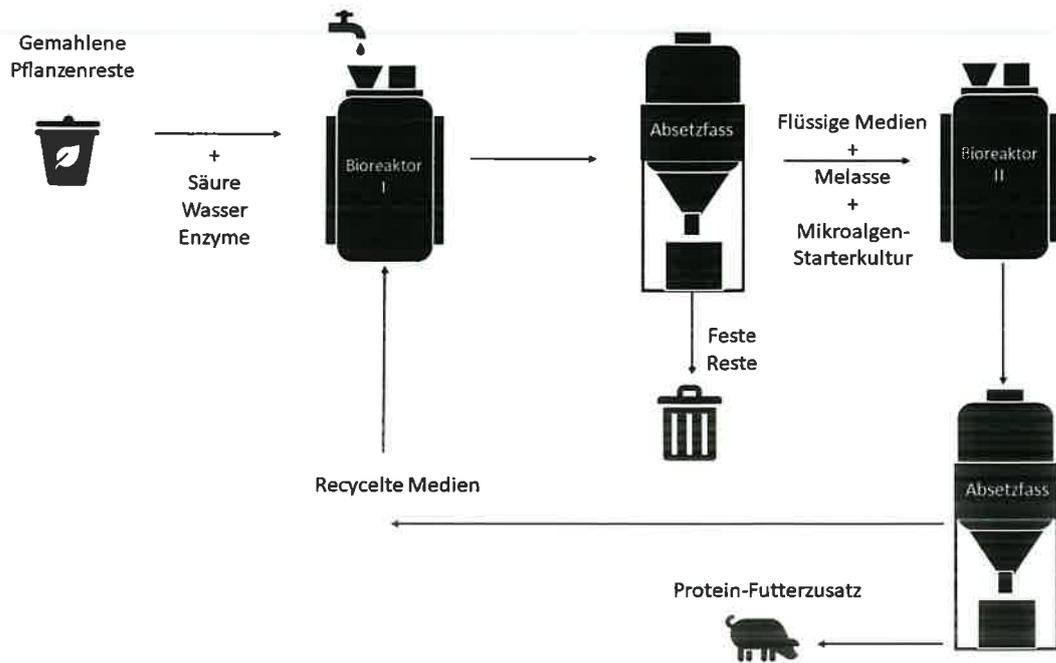


Abbildung 14 - Betriebssystem des vereinfachten AlgoWert-Prototyps (Mühle und Separator sind optional).

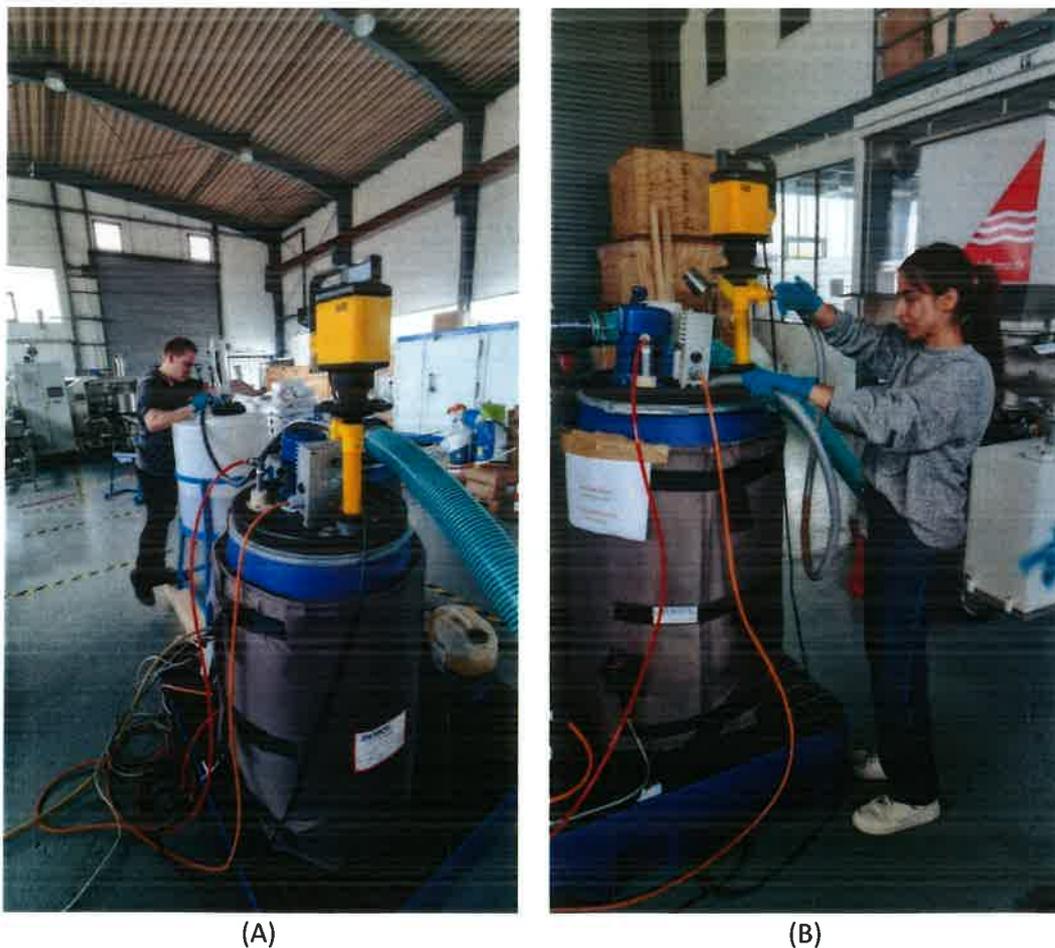


Abbildung 15 - Test des vereinfachten Setups des AlgoWert-Prototyps: (A) Pumpen des hydrolysierten Mediums in den Sedimentationstank, (B) Einführung des Überstandes des hydrolysierten Mediums in das Mikroalgenkultivierungsfass.



Abbildung 16 – Proben des Mikroalgenkultivierungsmediums (die ersten beiden links) und konzentrierte Mikroalgen-Rückstände (rechts).

Im Februar 2024 wurde der Betrieb des Prototyps weiter stabilisiert. Die zweite Fütterungsrunde war für den Zeitraum März bis Juni 2024 geplant. Da die eigene Biomasseproduktion noch nicht ausreichte bzw. nicht ausreichend stabil war, wurde entschieden, 200 kg getrocknete *Galdieria sulphuraria* von Aqualgae (Portugal) zu beschaffen, um den geplanten Zeitplan einzuhalten und Verzögerungen im Projektverlauf zu vermeiden.

Im Februar 2025 begann der zweite Fütterungsdurchlauf, diesmal mit selbst produzierten Mikroalgen. Aufgrund von Produktionsengpässen konnte jedoch nur ein Algenanteil von 0,5 % aus eigener Produktion eingebracht werden, während die restlichen 4,5 % durch das Aqualgae-Trockenpulver ergänzt wurden.

Eine zusätzlich zugekaufte feuchte Algencharge (TS ca. 30 %) führte bei den Versuchstieren zu massivem Durchfall und wurde daher nach zwei Tagen sofort abgesetzt. Im Anschluss wurde ausschließlich die vom ILU produzierte Mikroalgenbiomasse eingesetzt – diese wurde gut vertragen und führte zu keinen gesundheitlichen Auffälligkeiten.

D. AP 4 – Etablierung der Mikroalgenkultivierung und Unterstützung der Implementierung (M1-24)

Ziel dieses AP ist es, die verfahrenstechnischen Grundlagen für eine dezentrale Umsetzung im Umfeld landwirtschaftlicher Produktionsanlagen zu schaffen. Die vorgeschlagenen Aufgaben sind in der Liste unten ersichtlich (von April 2022 bis März 2024). Federführender Partner ist der ILU e. V.

- Chemische Charakterisierung und Bilanzierung anfallender pflanzlicher Agrarreststoffe;
- Entwicklung einer angepassten Strategie zur Hydrolyse pflanzlicher Reststoffe;
- Vorbereitende Untersuchung hinsichtlich der Eignung ausgewählter pflanzlicher Reststoffe als Nährstoffquelle für *Galdieria sulphuraria*;
- Aufskalierung der Kultivierung vom Labor- auf den Prototypenmaßstab;
- Bereitstellung von Prozessparametern zur Bilanzierung der Algenbiomasseproduktion.

Für weitere Einzelheiten siehe Tabelle 7.

Tabelle 7 – Aktueller Stand verschiedener Aufgaben des AP4 des Projektes „AlgoWert“ bis März 2023 (M1-12).

Time	Partner	Tasks
Apr 2022 – Jul 2022	ILU	Chemische Charakterisierung pflanzlicher landwirtschaftlicher Reststoffe (in den Betrieben zur Nutzung verfügbar) Planung und Durchführung von Laborversuchen für die ausgewählten Mikroalgenstämme und die vielversprechendsten landwirtschaftlichen Reststoffe Entwicklung einer angepassten Strategie zur Hydrolyse von Pflanzenresten unter Betriebsbedingungen
	Weitere OG-Mitglieder	Sammlung und Lieferung von Proben von landwirtschaftlichen Reststoffen, die für die Kultivierung von Mikroalgen geeignet sind
Aug 2022 – Jan 2023	ILU	Untersuchung hinsichtlich der Eignung ausgewählter pflanzlicher Reststoffe als Nährstoffquelle für <i>Galdieria sulphuraria</i> ; Modellierung und Berechnung der hochskalierten Methode zur Kultivierung von Mikroalgen unter Betriebsbedingungen Entwicklung von Kultivierungsprotokollen Organisation eines Beratungstreffens zur Vorbereitung der Stakeholder auf die Praxisversuch
	Weitere OG-Mitglieder	Teilnahme am Beratungsworkshop und Entwicklung einer Strategie zur Anwendung des Prototyps im Feld
Feb 2023 - Jul 2023	ILU	Bereitstellung von Prozessparametern zur Bilanzierung der Algenbiomasseproduktion Identifizierung von Optimierungspotenzialen der Mikroalgenkultivierung unter landwirtschaftlichen Bedingungen Untersuchung von Algenbiomassestichproben hinsichtlich mikrobieller Belastung sowie Belastung mit Pestiziden und Schwermetallen
	Weitere OG-Mitglieder	Sammlung und Bereitstellung von Informationen zur Mikroalgenkultivierung und Proben an ILU
Aug 2023 – Jan 2024	ILU	Bereitstellung von Prozessparametern zur Bilanzierung der Algenbiomasseproduktion Identifizierung von Optimierungspotenzialen der Mikroalgenkultivierung unter landwirtschaftlichen Bedingungen Untersuchung von Algenbiomassestichproben hinsichtlich mikrobieller Belastung sowie Belastung mit Pestiziden und Schwermetallen
	Weitere OG-Mitglieder	Sammlung und Bereitstellung von Informationen zur Mikroalgenkultivierung und Proben an ILU

In Bezug auf die Meilensteine für dieses Arbeitspaket ist der Meilenstein 4.1 "Erstellung von Protokollen für die Algenproduktion (01.07.2022)" kontinuierlich in Bearbeitung, da er die Anpassung und Optimierung der Kultivierung sowie Nebenprodukte umfasst. Das aktuelle Protokoll für die Mikroalgenproduktion befindet sich im Anhang 1 des vorherigen Zwischenberichts (August 2023). Die während verschiedener Kultivierungsexperimente gesammelten Daten sind im Anhang 2 des vorherigen Zwischenberichts (August 2023) verfügbar. Die Richtlinie für die Kultivierung heterotropher Mikroalgen durch Landwirte laut Arbeitspaket 4.2 wurde erstellt. Die Richtlinie greift die Schwierigkeiten auf, die sich aus den beobachteten Kontaminationen ergaben. Auch wenn *G. sulphuraria* aufgrund der harschen Umweltbedingungen in der Lage ist Kontaminationen zu unterdrücken, so konnten sich im Verlauf der Kultivierung oft pilzliche Kontaminationen durchsetzen. Neben dem Protokoll zur Anzucht von Mikroalgen sollten folgende Punkte zur kontaminationsfreien Kultivierung beachtet werden. Die zu beachtende Richtlinie umfasst grundsätzlich drei Punkte:

1. Durchführung der Hydrolyse des Substrats und der Kultivierung in einem abgegrenzten Raum (Abbildung 17). Dieser Raum kann z.B. durch das Aufhängen von Lamellen abgegrenzt werden. Es wird kein steriles Arbeitsumfeld benötigt, aber durch die Lamellen wird das Eindringen von Kontaminationen erschwert.



Abbildung 17 - Hydrolyse des Substrats und der Kultivierung in einem abgegrenzten Raum. Dieser Raum kann z.B. durch das Aufhängen von Lamellen abgegrenzt werden. Es wird kein steriles Arbeitsumfeld benötigt, aber durch die Lamellen wird das Eindringen von Kontaminationen erschwert.

2. Mitarbeiter*innen haben vor Betreten des Raumes Kittel, Schuhüberzieher und Haarnetz zu tragen. Damit wird ein Einbringen von Kontaminationen erschwert (Abbildung 18).



Abbildung 18 - Mitarbeiter*innen tragen Haarnetz, Handschuhe, Mantel und Schuhüberzüge

3. Das Hydrolysat sollte nach der Hydrolyse umgehend auf pH 2 eingestellt und für 24 Stunden auf 60-70°C erwärmt werden, um vegetative Formen von Kontaminationen unschädlich zu machen. Das Hydrolysate sollte, wenn keine Kühl- bzw. Gefrierzelle zur Verfügung steht, unmittelbar in Kultivierungen eingesetzt werden (Abbildung 19).



Abbildung 19 - Das Hydrolysat sollte nach der Hydrolyse umgehend auf pH 2 eingestellt und für 24 Stunden auf 60-70°C erwärmt werden, um vegetative Formen von Kontaminationen unschädlich zu machen.

Die Einhaltung einer gewissen Reinheit trägt nicht nur zur Beseitigung von Kontaminationen bei, sondern in gleicher Weise zu einer Erhöhung der Qualität der produzierten Algenbiomasse. Entsprechend konnten auch keine Keime bezüglich pathogener Organismen wie *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Bacillus cereus* s.l. und *Listeria monocytogenes* gefunden werden.

Auf Basis der Erkenntnisse bezüglich der einzelnen Substrate und Kultivierungsbedingungen, konnte eine kontinuierliche *G. sulphuraria*-Biomasseproduktion über einen längeren Zeitraum erreicht werden (Abbildung 20). Dies war letztendlich die Voraussetzung, um die Fütterungsexperimente erfolgreich durchzuführen. Einmal die Woche (gekennzeichnet als rote Linie) wurde die Biomasse geerntet und für die Fütterung bereitgestellt.

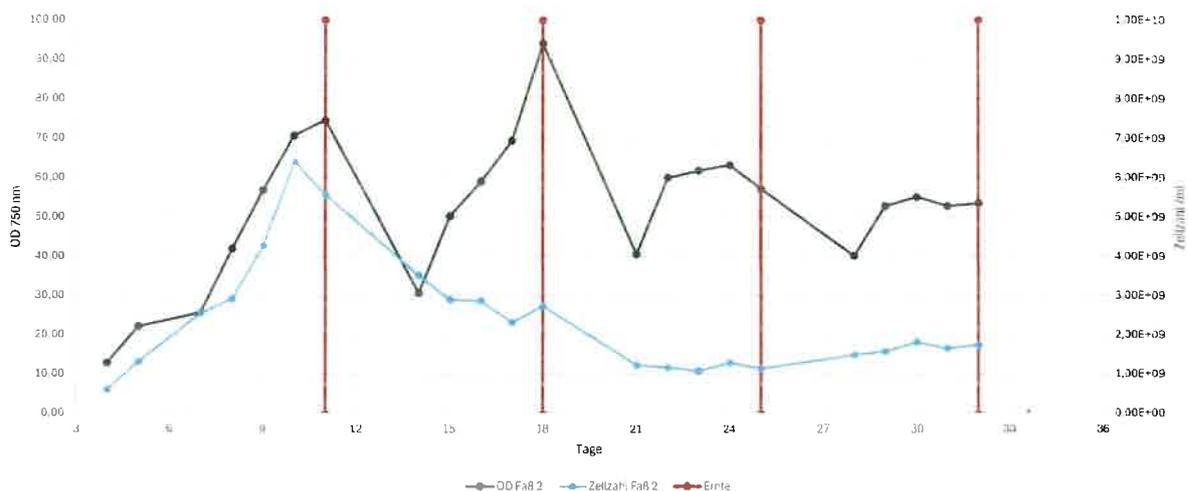


Abbildung 20 - Kontinuierliche Kultivierung von *G. sulphuraria* über einen Zeitraum von 32 Tagen.

Auch wenn gezeigt werden konnte, dass pflanzliche Reststoffe als Nährstoffquellen für *G. sulphuraria* geeignet sind, so stand der Produktion immer ein Mangel an Nährstoffen entgegen, der über die Zugabe an Ammoniumsulfat und Glycerol, aber auch Kaliumdihydrogenphosphat ausgeglichen werden musste. Mit regelmäßigen Zufütterung (rote Linie Abbildung 20) von 10 g/L Glycerol, 0,5 g/L Ammonium, 0,5 g/L Phosphat konnte die Biomassekonzentration zwischen 10 und 20 g/L gehalten. Durch die Kultivierung von *G. sulphuraria* in 2 Fäßern mit einem Arbeitsvolumen von ca. 100 L konnte eine substantielle Menge an Biomasse für die Fütterungsversuche produziert werden.

E. AP 5 – Nachhaltigkeitsbetrachtung (M12-36)

Das Ziel dieses AP ist es, die Umweltauswirkungen des Mikroalgen-Kultivierungssystems und der Mikroalgen-Biomasse zu bewerten und darzustellen. Die Analyse basiert auf Life Cycle Assessment (LCA) und internationalen Standards (DIN ISO 14040-14044). Diese Aufgabe wird maßgeblich vom DIL e. V. durchgeführt, mit direkt erhobenen Daten aus der Nutzung des Prototyps zur Mikroalgenkultivierung für die Futtermittelproduktion. Die Studie beginnt mit dem Beginn der Erprobung des Prototyps als hochskaliertes Verfahren aus dem Labormaßstab. Die vorgeschlagenen Aufgaben können der folgenden Liste entnommen werden und gehen von März 2023 bis März 2024:

- Zusammentragen von wissenschaftlichen Informationen bezüglich des Ressourcenverbrauchs in landwirtschaftlichen Betrieben und Analyse potenzieller Produkte;
- Vergleichende Ökobilanz der landwirtschaftlichen Aktivitäten und mit integriertem „AlgoWert“-System

Dieses Arbeitspaket zielt darauf ab, die Umweltauswirkungen des Mikroalgen-Kultivierungssystems und der Mikroalgen-Biomasse zu bewerten und darzustellen. Die Analyse basiert auf der Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) und internationalen Standards (ISO 14040-14044). Diese Aufgabe wird hauptsächlich von DIL e. V. entwickelt, wobei die Daten direkt aus der Verwendung des Prototyps für die Mikroalgen-Kultivierung zur Futtermittelproduktion gesammelt werden. Die Studie begann im März 2023 mit dem Test des Prototyps, um aufskalierte Daten für die Ökobilanz bereitzustellen. Ziel und Umfang der Ökobilanz wurden definiert, und die Datensammlung begann mit der Inventarliste der Ausrüstung und der Schätzung der Effizienz der Mikroalgenproduktion. Während die Daten für den Batch-Betrieb gesammelt werden, läuft die fortgesetzte Kultivierung und erfordert mehr Zeit, um den Kultivierungsprozess und die Datenerhebung zu optimieren. Die Bewertung hat geringfügige Verzögerungen aufgrund der Verzögerungen in den Versuchen. Eine detaillierte Übersicht über die Aufgaben und deren Abschluss finden Sie in Tabelle 8.

Tabelle 8 - Aktueller Stand verschiedener Aufgaben des AP5 des Projektes „AlgoWert“.

Time	Partner	Tasks
Feb 2023 – Jul 2023	DIL	Ziel- und Umfangsidentifikation
		Literaturdatensammlung
		Entwicklung von Ökobilanzmodellen
	ILU	Datensammlung und Zusammenfassung von Feldversuchen
Aug 2023 – Jan 2024	DIL	Datenerhebung bei den Betrieben (konventionelle Arbeitsweise) und Ermittlung möglicher Variationen der konventionellen Produktion (einschließlich Schweinemast)
		Erstellung des ersten Lebenszyklus-Inventars
		Datensammlung und Zusammenfassung von Feldversuchen
	ILU	Sammlung und Zusammenfassung der Daten über die landwirtschaftlichen Reststoffe, nützlich für die Mikroalgenkultivierung
Feb 2024 – Jan 2025	DIL	Datensammlung und Zusammenfassung aus der Feldmikroalgenkultivierung
		Erstellung des Lebenszyklusinventars einschließlich Mikroalgenproduktion, landwirtschaftlicher Betrieb und Tierfütterung
		Erster Ökobilanz
	ILU	Vergleichende Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Tätigkeiten und mit integriertem „AlgoWert“-System
	ILU	Modellierung von Mikroalgen Ökobilanzen

Erster Ökobilanz:

(a) Methodik

Die Ökobilanz (LCA) wurde gemäß den ISO-Normen 14040-14044 (ISO, 2006a, 2006b) durchgeführt. Das untersuchte Produktionssystem ist für die Kultivierung von *Galdieria sulphuraria* im Rahmen des Projekts "AlgoWert" konzipiert, mit dem Hauptziel, die ökologischen Auswirkungen dieses Produktionssystems zu quantifizieren und zu bewerten. Die Ergebnisse dieser Methode können zu konkreten Empfehlungen oder Anweisungen führen, um Verfahren und Prozesse nachhaltiger zu gestalten. Die LCA ist in die folgenden Schritte unterteilt: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsumfangs, Inventaranalyse, Wirkungsabschätzung und Interpretation (siehe Abbildung 21). Zu diesem Zweck verwendet die Studie die Software SimaPro 9.5 für die LCA und integriert Daten aus renommierten Datenbanken wie ecoinvent 3.9 (ecoinvent, Zürich, Schweiz), Agri-footprint (fehlende Informationen) und GaBi (Sphera Solutions, Stuttgart, Deutschland).

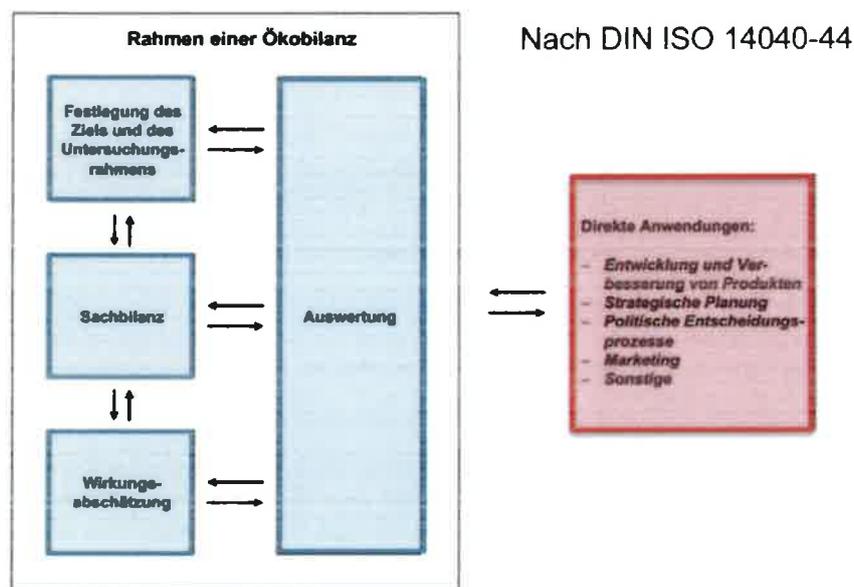


Abbildung 21 - Vorgehensweise der Ökobilanzierung nach DIN ISO 14040-44.

• Beschreibung des Systems

Das Produktionssystem dieser Studie ist für die Kultivierung von *Galdieria sulphuraria* im Rahmen des Projekts "AlgoWert" konzipiert. Das Hauptziel besteht darin, die ökologischen Auswirkungen dieses Produktionssystems zu quantifizieren und zu bewerten. Zu diesem Zweck verwendet die Studie die Software SimaPro 9.5 (PRé Sustainability B.V, Amersfoort, Niederlande) für die Ökobilanz. Daten für die Ökobilanz des Prototyps wurden durch Kontaktaufnahme mit Herstellern bezüglich Materialien, Menge und Herstellungsverfahren mithilfe eines Datenerhebungsformulars gesammelt. Wenn Daten fehlten, wurden sie mit Daten aus verschiedenen Datenbanken wie ecoinvent 3.9 (ecoinvent, Zürich, Schweiz) und GaBi (Sphera Solutions, Stuttgart, Deutschland) für vergleichbare Prozesse ergänzt (Abbildung 22). Hintergrunddaten für die Kultivierungsphase der Studie stammten ebenfalls aus diesen Datenbanken sowie aus Agri-footprint (BlonkConsultants, Gouda, Niederlande).

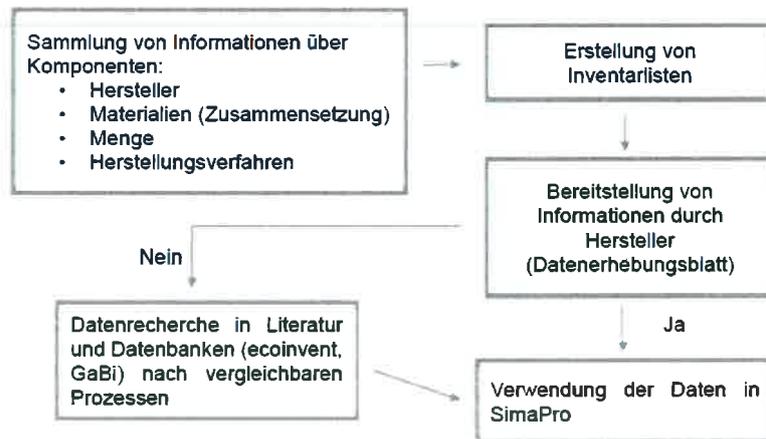


Abbildung 22 -Vorgehen Datenerhebung Sachbilanz.

- Modularer LCA-Ansatz

Für diese Studie wurde eine modulare Ökobilanz angewendet. Eine modulare Ökobilanz besteht darin, Teile des Lebenszyklus des Produkts in Module zu strukturieren, die Lebenszyklusphasen repräsentieren. Im Fall dieser Studie sind die beiden Module: (1) Konstruktion des Prototyps und (2) Mikroalgenkultivierung (Abbildung 23):

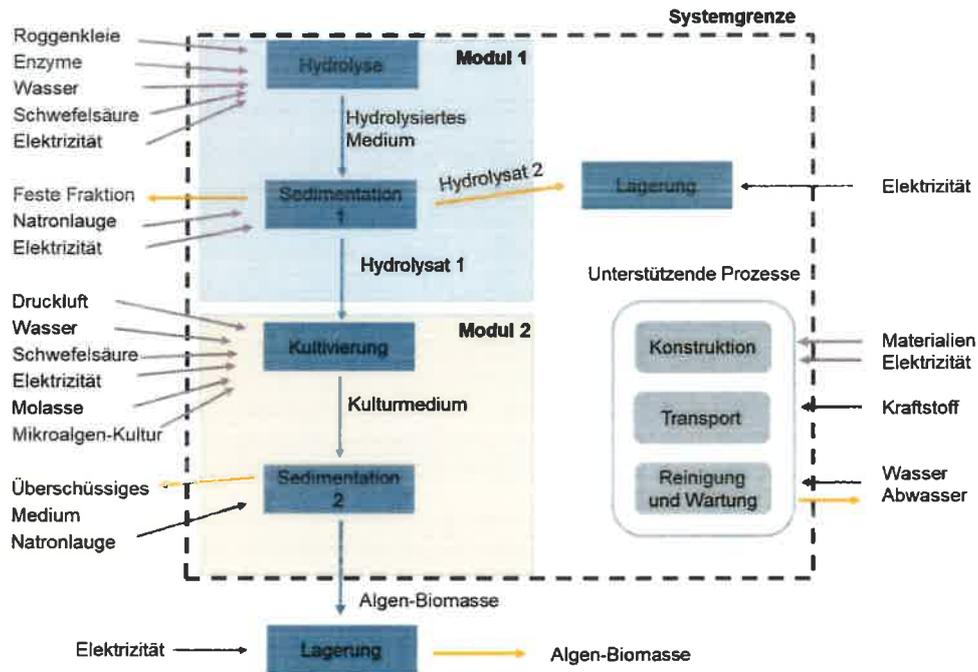


Abbildung 23 - Fließschema des Produktionssystems am DIL e.V. bestehend aus zwei Modulen mit Systemgrenze, Inputströmen (rosa Pfeile), Output-Strömen (gelbe Pfeile), Prozessen (blaue Kästen) und unterstützenden Prozessen (graue Kästen).

- Modul Konstruktion des Prototyps:
 - o Beschreibt die Lebenszyklusphase, die die Konstruktion des Prototyps umfasst.

- Die funktionale Einheit für dieses Modul ist die Konstruktion eines kompletten Prototyps.
- Es wurden folgende Annahmen gemacht:
 - Berücksichtigung der Hauptmaterialien für komplexe Komponenten.
 - Teilweise Berücksichtigung des Energieverbrauchs in der Produktion.
 - Transport vom Produktionsort zu DIL e.V. erfolgt per Fracht, LKW, nicht spezifiziert {RER}.
 - Geografischer Bezug: falls verfügbar Europa (ohne die Schweiz), ansonsten RER oder GLO.
 - Alle Edelstahlkomponenten bestehen aus Edelstahl 18/8 (GLO).
 - Nicht berücksichtigt werden:
 - Montage des Prototyps (einschließlich Werkzeuge und Stromverbrauch).
 - Herstellungsprozesse einzelner Komponenten wie Kompressor und Gefrier- und Kühlapparate (aufgrund fehlender Daten).
 - Infrastrukturen der Produktionsstätten und Verpackungsmaterialien.
- Die Systemgrenzen werden aus der Perspektive von "cradle-to-gate" ("Wiege-bis-Werkstor") betrachtet, das heißt von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur fertigen Herstellung des Prototyps. Diese Definition schließt die Berücksichtigung der Nutzungsjahre aus, die später im Projekt geplant ist. Der Prototyp repräsentiert die funktionelle Einheit, bestehend aus fünf Baugruppen (A-E) (siehe Abbildung 24 - Abbildung 24), mit einem Arbeitsvolumen von 200 L.

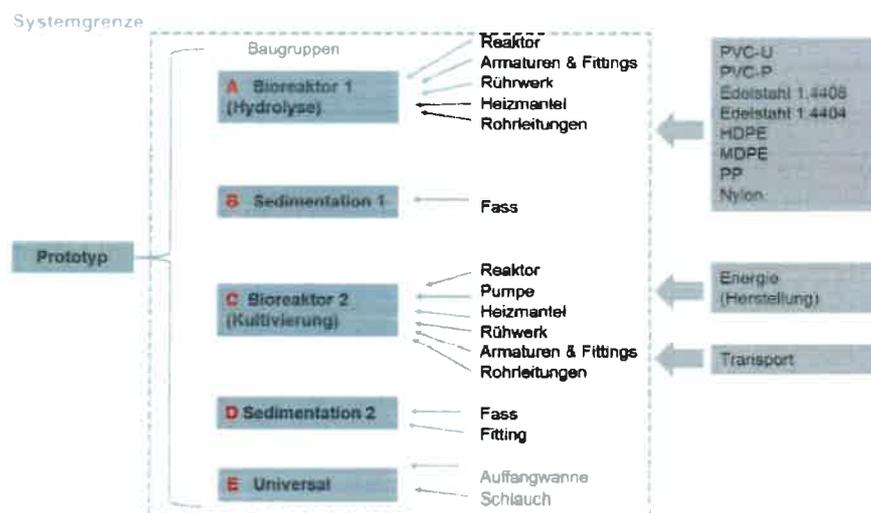


Abbildung 24 - Untersuchungsrahmen Konstruktion des Prototyps.

- Modul Mikroalgenkultivierung:

- Umfasst die Lebenszyklusphase, die mit der Kultivierung von *Galdieria sulphuraria* im Prototypen verbunden ist.
- Skizziert klar die Systemgrenzen, Eingangs- und Ausgangsströme, Prozesse und unterstützende Prozesse (Abbildung 24).
- Um eine spätere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden zwei funktionelle Einheiten gewählt. Die erste funktionelle Einheit (FE 1) beschreibt das kg an konzentrierter Algenlösung von *Galdieria sulphuraria* mit einer Trockensubstanz

von 10 %. Die zweite funktionelle Einheit (FE 2) wurde definiert als das kg an Rohproteinen in der konzentrierten Algen-Biomasse, wodurch auch die Vergleichbarkeit zu konventionellen Proteinquellen hinsichtlich des Treibhauspotentials möglich ist.

- Die Systemgrenze erstreckt sich von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Fertigstellung des Produkts am Werkstor, was bedeutet, dass sie "cradle-to-gate" betrachtet wird. Neben allen Hauptprozessen wurden auch unterstützende Prozesse wie die Konstruktion des Prototyps, Reinigung, Wartung und Transport in die Bewertung einbezogen. Auch Abfallbehandlungsprozesse wurden berücksichtigt, einschließlich der Neutralisation und Entsorgung der festen Fraktion des hydrolysierten Mediums. Die Nutzungsphase der Biomasse zur Fütterung von Schweinen wurde jedoch bisher nicht berücksichtigt.

Die Systemgrenze erstreckt sich von der "Wiege" (Gewinnung von Rohstoffen) bis zum "Tor" (Fertigstellung des Produkts am Werkstor). Unterstützende Prozesse wie die Konstruktion des Prototyps, Reinigung, Wartung und Transport sind integraler Bestandteil der Bewertung. Behandlungsprozesse von Abfällen, einschließlich der Neutralisation und Entsorgung der festen Fraktion des hydrolysierten Mediums, werden ebenfalls berücksichtigt. Die Methode IMPACT 2002+, die 14 Midpoint-Kategorien und vier Schadenskategorien abdeckt, wurde für die Wirkungsbewertung verwendet. Die Allokation am Punkt der Substitution (Allocation at Point of Substitution, APOS) wird verwendet, um Umweltauswirkungen auf verschiedene Produkte und Nebenprodukte zu verteilen.

(b) Inventaranalyse

1. Modul 1 - Konstruktion des Prototyps

Die Datenerhebung erfolgte gemäß dem zuvor beschriebenen Verfahren und kann in Tabelle 9 eingesehen werden, zusammen mit den Transportleistungen der Produkte. Die meisten Prozessdatensätze wurden aus der in SimaPro integrierten Datenbank ecoinvent 3.9 entnommen. Für die Modellierung eines Elektromotors des Rührwerks wurde ein Datensatz aus der GaBi-Datenbank verwendet und auf die Herstellung des verwendeten Motors übertragen. Neben der Auswahl von Prozessen zur Materialherstellung wurden auch geeignete Verfahren zur Herstellung der Endprodukte berücksichtigt und auf Basis von Informationen von Herstellern und Literaturrecherche ausgewählt.

Tabelle 9 - Materialliste Prototyp.

Prozessschritt	Komponente	Material	Menge	Einheit	Transportleistung in kgkm	Bemerkung
Bioreaktor 1 (Hydrolyse)	Fass	HDPE	8	kg	976	
	Fassrührer	Edelstahl 1.4404	12	kg	902,4	Motor: 7,2 kg
	Heizmantel	Nylon, Silikon	5	kg	610	
	Schlauch	PVC-P	0,483	kg	300,57	
	Gewindedurchführung	PVC-U	0,05	kg	19,7	
	Rohr	PVC-U	2,312	kg	2894,25	D:110 mm; L:1,2 m; PN 10
	Winkel	PVC-U	1,129	kg	1413,508	
	Verschraubung	PVC-U			/	
	Schlauchtülle	Edelstahl 1.4408	1,433	kg	1455,928	
	Gewindeflansch	PVC-U	0,42	kg	52,1	
Sedimentation 1	Gesamte PVC-Fittings (H)	PVC-U	1,599	kg	/	
	Fass	HDPE	8	kg	976	
Bioreaktor 1 (Kultivierung)	Kühlcontainer mit Kühlaggregat	/	/	/	/	
	Fass	HDPE	8	kg	976	
	Fasspumpe	PP	10,5	kg	4777,6	Motor: 4,6 kg
	Heizmantel	Nylon, Silikon	5	kg	610	
	Fassrührer	Edelstahl 1.4404	12	kg	902,4	
	Kompressor	/	/	/	/	
	Gewindedurchführung	PVC-U	0,05	kg	19,7	
	2x Kreuzstück	PVC-U	0,04	kg	131,68	
	Rohr	PVC-U	0,12	kg	14,9	D: 20 mm; L: 1 m; PN 16
	6x Klebeklappe	PVC-U	0,01	kg	77,8	
Sedimentation 2	2x Rohrnippel	Edelstahl AISI 304	0,938	kg	1906	
	2x Winkel	PVC-U	0,02	kg	65,84	
	2x Winkel	Edelstahl 1.4408	0,063	kg	128	
	Gewindeflansch	PVC-U	0,42	kg	52,1	
	Gesamte PVC-Fittings (K)	PVC-U	0,65	kg	/	
	Behälter	PE Edelstahl 1.4301	7,943	kg	9510	
	Kugelhahn	Edelstahl	2,057	kg	2090	
	Gefrierapparat	/	/	/	/	
	Auffangwanne	PE	25	kg	/	
	Spiralschlauch	PVC-P	3,52	kg	202	1,8 m verbaut, Spirale PVC-U

2. Modul 2 - Mikroalgenkultivierung

Zusammenfassend beginnt der Prozess mit der Hydrolyse von verwendetem Roggenkleie in einem 220-Liter-Kunststofffass (DENIOS SE, Bad Oeynhausen, Deutschland) bei 45 °C, reguliert durch einen Heizmantel (DENIOS SE, Bad Oeynhausen, Deutschland), über einen Zeitraum von 24 Stunden. Die Mischung hatte einen Trockenmassegehalt von 15% und enthielt 30 kg verbrauchte Roggenkleie. Die für den Prozess verwendeten Enzyme sind Cellulase TXL, Glucoamylase AN und Protease S-02 (ASA Spezialenzyme GmbH, Wolfenbüttel, Deutschland) (je 0,1 L), die einen niedrigen pH-Wert erfordern. Zur pH-Wert-Verringerung wurden 5 L 2 M Schwefelsäure hinzugefügt. Ein elektronisch einstellbarer 2-Propeller-Rührer (Schwarzer Rührtechnik, Delmenhorst, Deutschland) wurde verwendet, um die Mischung homogen zu halten. Nach 24 Stunden wurde das Fass in eine Kühlkammer (5 °C) verschoben, um das flüssige Hydrolysat von den Feststoffen zu trennen und zu sedimentieren. Das Hydrolysat wird für die spätere Kultivierung von Mikroalgen verwendet (siehe vorherige Berichte für weitere Details), während der feste Teil mit NaOH (4 M) neutralisiert und entsorgt wird.

Anschließend beginnt der Teil des Mikroalgenanbaus des Prozesses. Dies erfolgt in einem ähnlichen 220-Liter-Fass. Für die Kultivierung wurden 20 L einer Starterkultur von *Galdieria sulphuraria* verwendet, die zuvor am DIL e.V. hergestellt wurde. Zusätzlich wurden 93 L des zuvor hergestellten Hydrolysats hinzugefügt, während das verbleibende Hydrolysat in einer Kühlkammer gelagert wurde. Darüber hinaus wurden 50 L Wasser und 10,6 L Zuckerrohrmelasse verwendet. Die Betriebsbedingungen umfassten eine Temperatur von 45 °C, reguliert durch einen Heizmantel, und eine konstante Belüftung mit einem Volumenstrom von 18 L/min. Ein Propellerrührer gewährleistete die ideale Durchmischung des Mediums. Der pH-Wert wurde außerdem durch Zugabe von 1,3 L Schwefelsäure auf 2 eingestellt, um Kontaminationen zu vermeiden. Nach der Kultivierung (21 Tage) erfolgte die Sedimentation des Mediums in einem zylindrischen Sedimentationsbehälter (Kwerk GmbH, Montabaur, Deutschland) mit einem Volumen von 208 L für 24 Stunden. Die Mikroalgen-Biomasse setzte sich aufgrund von Dichtunterschieden am Boden ab und wurde konzentriert. Die unteren 10 % der Biomasse aus dem Sedimentationsbehälter wurden entnommen und mit 4 M NaOH neutralisiert. Der verbleibende Überstand wurde für eine anschließende Hydrolyse des Mediums eingelagert. Die Daten für dieses Modul (Modul 2) können in

Tabelle 10 gefunden werden. Das durchschnittliche Ergebnis der chemischen Zusammensetzung der konzentrierten Biomasse wurde durch eine chemische Analyse bestimmt und kann der

Tabelle 11 entnommen werden.

Tabelle 10 - Lebenszyklusinventar des Produktionssystems mit Auflistung aller Prozess-Schritte und Angaben aller Input- und Output-Stoff- und Energie-Ströme sowie zugehöriger Mengen.

Prozessschritt	Materialien	Input		Output		Bemerkung	
		Menge	Einheit	Menge	Einheit		
Hydrolysis	Roggenkleie	30	kg				
	Schwefelsäure	5	kg			2- molare H ₂ SO ₄	
	Wasser	167	kg				
	Protease	0,1	kg				
	Cellulase	0,1	kg				
	Glucoamylase	0,1	kg				
	hydrolysiertes Medium			202,3	kg		
	Rührwerk		3,829	kWh			
	Heizmantel		6,297	kWh			
Sedimentation 1	hydrolysiertes Medium	20	kg				
	feste Fraktion			30	kg		

	Natronlauge	0,99	kg			Neutralisation, 4-molare NaOH, V=33 mL/L
	Hydrolysat			172,3	kg	
	Kühlapparat	138,888	kWh			Dauer über komplette Produktion
Kultivierung	Hydrolysat	93	kg			pH=2, Rest des Hydrolysat es in Kühlung
	Wasser	50	kg			
	Molasse	10,6	kg			
	Inokulum	10	kg			
	Druckluft	544,32	m3			
	Schwefelsäure	1,3	kg			2- molare H ₂ SO ₄
	verdünnte Algen-Biomasse			164,91	kg	
	Rührwerk	24,472	kWh			
	Heizmantel	132,237	kWh			
	Fasspumpe	1,288E-4	kWh			
	Kompressor	124,64	kWh			
Sedimentation 2	verdünnte Algen-Biomasse	164,91	kg			
	überschüssiges Medium			148,41	kg	90 % der Suspension
	konzentrierte Algen-Biomasse			16,49	kg	10 % der Suspension
	Natronlauge	0,544	kg			Neutralisation, 4-molare NaOH, V=33 mL/L
Reinigung	Wasser	40	L			pro Fass ca. 10 L
	Abwasser			40	L	

Tabelle 11 - Durchschnittliche chemische Zusammensetzung der produzierten Biomasse beim DIL e.V. im Batch-Betrieb mit einer TS von 11 %.

	Durchschnittlicher Gehalt in g/100 g
Wasser	89.2
Asche	2.1
Rosprotein	1.4
Fett	0.2
Kohlenhydrate	5.2
Gesamtfaser	1.9

(c) Einschränkungen Annahmen Datenerfassung

Während der LCA-Analyse waren bestimmte Annahmen erforderlich, was zu Einschränkungen in der Studie führte. Bei der Datensammlung traten Mängel in den vom Hersteller erhaltenen Informationen auf, was zu mehreren Annahmen in der Inventaranalyse führte. Dies beinhaltete die Annahme, dass komplexe Bauteile mit nicht spezifizierter Materialzusammensetzung aus einem einzigen Material bestehen. Die Auswahl der Herstellungsverfahren erfolgte überwiegend durch Literaturrecherche, was möglicherweise keine vollständig realistische Beschreibung der Verfahren bietet. In Bezug auf den Bau des Prototyps ist die Annahme der Lebensdauer entscheidend. Aufgrund fehlender Informationen zur individuellen technischen Lebensdauer jeder installierten Komponente wurde auf bestehende Lebenszyklusanalysen von Reaktoren und verfahrenstechnischen Anlagen verwiesen, bei denen eine durchschnittliche Lebensdauer von 20 Jahren gemäß Literaturdaten angenommen wurde. Für die Modellierung wurden folgende zusätzliche Annahmen getroffen:

- Allgemein:
 - Der Batch-Betrieb erfolgte am Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik e.V.;
 - Geografischer Bezug: Deutschland, Europa ohne die Schweiz, Europa oder Global;
- Betriebsdauer:
 - Die Kultivierung erfolgt an 315 Tagen pro Jahr, wobei eine einzelne Charge 21 Tage dauert und zu 15 jährlichen Betriebszyklen führt;
 - Hydrolyse und Sedimentation 1 erfolgen an 14 Tagen pro Jahr mit insgesamt 7 jährlichen Betriebszyklen;
 - Sedimentation 2 erfolgt an 15 Tagen pro Jahr mit insgesamt 15 jährlichen Betriebszyklen;
 - Insgesamt sind 21 Tage pro Jahr für die Reinigung und Wartung des Prototyps vorgesehen;
- Konstruktion:
 - Im Falle von komplexen Bauteilen wurde der Hauptbestandteil zu 100% angenommen, um die Berechnungen zu erleichtern;
 - Es war unmöglich, den Energieverbrauch für die Produktion in allen Komponenten zu berücksichtigen;
 - Der Transport vom Produktionsort zum DIL e.V. erfolgt über den ecoinvent 3.9-Prozess: "freight, lorry, unspecified {RER}";
 - Für alle Edelstahlkomponenten wurde der ecoinvent 3-9-Prozess: "Stainless steel 18/8 (GLO)" gewählt;
 - Die Lebensdauer aller Komponenten beträgt 20 Jahre (Abbildung 25);

Neben den getroffenen Annahmen ist es auch notwendig, Einschränkungen bei der Bilanzierung zu berücksichtigen. Die folgenden Prozesse werden nicht berücksichtigt:

- Montage des Prototyps (einschließlich Werkzeuge und Stromverbrauch);
- Herstellungsprozesse einzelner Komponenten wie Kompressor, Gefrier- und Kühlgeräte
- Infrastrukturen der Produktionsstätten
- Verpackungsmaterialien

Es ist wichtig zu betonen, dass die Aussagekraft der durchgeführten Ökobilanz unter Berücksichtigung aller Annahmen und Einschränkungen bewertet werden sollte. Daher sollte die Interpretation der Ergebnisse immer im Kontext von Qualität und Herkunft der Daten betrachtet werden. Eine weitere wichtige Einschränkung besteht darin, dass es sich bei dem vorliegenden Produktionssystem um einen Prototyp handelt und daher nicht um einen optimierten Produktionsprozess. Da die Ökobilanz während seines Entwicklungs- und Optimierungsprozesses durchgeführt wurde, sollten die Ergebnisse in diesem Kontext interpretiert werden. Darüber hinaus zielt das Projekt darauf ab, einen kontinuierlich betriebenen Prototyp zu entwickeln, wodurch der hier speziell untersuchte Batch-Betrieb nicht die endgültige Betriebsweise darstellt. Dies liegt daran, dass in diesem Projektabschnitt noch keine verwertbaren Daten für den kontinuierlichen Betrieb vorliegen, da die Optimierung des Prozesses noch nicht abgeschlossen ist.

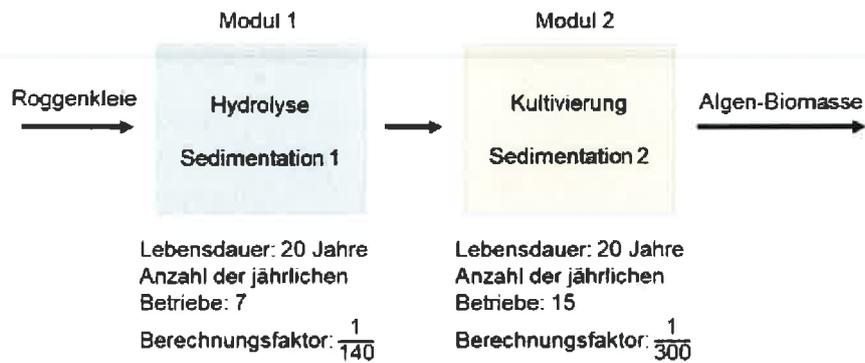


Abbildung 25 - Darstellung des modularen Produktionssystems mit Beachtung der Lebensdauer der Komponenten mit jährlicher Betriebsdauer.

(d) Wirkungsabschätzung – Ergebnisse

a. Prototyp

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung, die mithilfe der SimaPro-Software durchgeführt wurden, sind in **Error! Reference source not found.** dargestellt. Eine Auswahl von Wirkungskategorien ist für die weitere Auswertung der Ergebnisse erforderlich. Um später eine Vergleichbarkeit zwischen Literaturergebnissen und den eigenen Erkenntnissen zu ermöglichen, wurde die Wirkungskategorie "Climate-change, short term" mit dem Wirkungsindikator kg CO₂-eq. im Verlauf der Arbeit fokussiert. Darüber hinaus wurde für die Berechnung die Methode "IMPACT World+ Midpoint V1.15" zusammen mit der Allokationsmethode "Allocation at Point of Substitution" gewählt. Die Summe der Wirkungsindikatorwerte für die Herstellung des Prototyps beträgt 602,4 kg CO₂-eq.

b. Mikroalgenkultivierung

In Tabelle 12 finden Sie die Ergebnisse für die Kultivierung von Mikroalgen.

Tabelle 12 -Wirkungsabschätzung der Konstruktion des Prototyps, Methode: IMPACT 2002+ V2.15, System: Allocation at Point of Substitution (APOS,U).

Wirkungskategorie	Einheit	Summe
Aquatic acidification	kg SO ₂ eq	3.13787709
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	152798.08
Aquatic eutrophication	kg PO ₄ P-lim	0.21115167
Carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq	28.07225
Global warming	kg CO ₂ eq	530.01641
Ionizing occupation	Bq C-14 eq	5602.7393
Land occupation	m ² org.arable	15.014141
Mineral extraction	MJ surplus	239.50913
Non-carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq	7.7051732
Non-renewable energy	MJ primary	8358.3685
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	3.50E-05
Respiratory inorganics	kg PM _{2.5} eq	1.1472139
Respiratory organics	kg C ₂ H ₄ eq	0.20734851
Terrestrial acid/nutri	kg SO ₂ eq	9.9272483
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	32136.695

Tabelle 13 - Wirkungsabschätzung aus SimaPro 9.5 mit Darstellung der Wirkungsindikatorwerte in Bezug auf die funktionellen Einheiten FE 2, Methoden: IMPACT 2002+ V2.15 und ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08, Allocation at Point of Substitution (APOS,U)

Wirkungskategorie	Einheit	Microalgenkultivierung
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0.0344
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	1200.110
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0.0059
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	0.0649
Global warming	kg CO2 eq	12.0258
Ionizing occupation	Bq C-14 eq	227.3445
Land occupation	m2org.arable	0.4180
Mineral extraction	MJ surplus	0.4194
Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	0.0476
Non-renewable energy	MJ primary	184.7497
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0.0000
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0.0060
Respiratory organics	kg C2H4 eq	0.0014
Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	0.1288
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	74.3094
Water consumption (ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08)	m3	0.4236

(e) Analyse der Ergebnisse

a. Prototyp

Abbildung 26 zeigt die Aufschlüsselung des Gesamteinflusses durch die verschiedenen Komponenten. Die Herstellung der Komponenten für den zweiten Sedimentationsprozess hat den größten Anteil am Gesamtergebnis mit 245,89 kg CO₂-Äquivalent, gefolgt von denen, die für den ersten Bioreaktor verwendet werden, mit 171,81 kg CO₂-Äquivalent. Die Ausrüstung für die erste Sedimentation trägt am wenigsten zum Gesamtergebnis bei. Weitere Analysen (siehe Abbildung 27) zeigen, dass ein erheblicher Teil des Umwelteinflusses aus der Herstellung des Sedimentationstanks stammt.

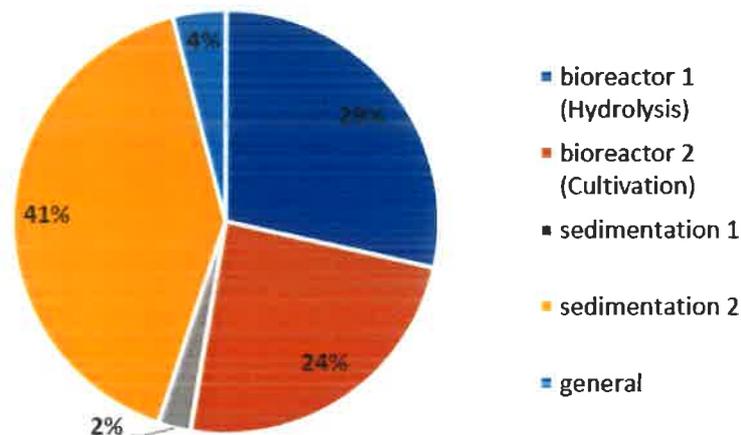


Abbildung 26 - Ergebnis nach Baugruppen, Methode: IMPACT World+ Midpoint V1.03, Wirkungskategorie: climate change (short term), Allocation at Point of Substitution (APOS).

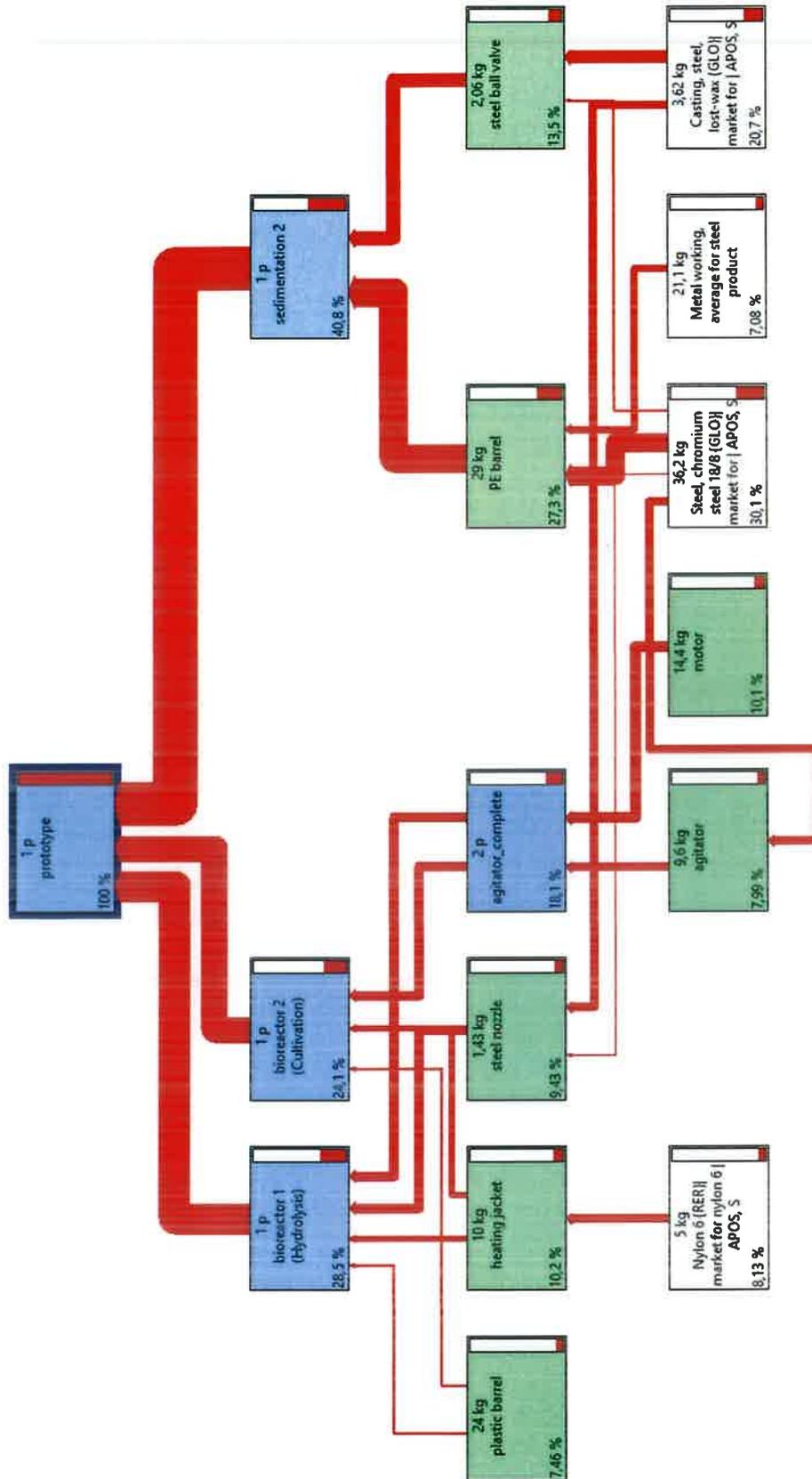


Abbildung 27 - Modellierung der Prototype in SimaPro; Methode: IMPACT World+ Midpoint V1.03; System: APOS (S); Wirkungskategorie: climate change (short term); Indikator: kg CO₂ eq.

In der folgenden Abbildung 28 ist klar ersichtlich, dass die Herstellung von Stahl (30%) und die weitere Verarbeitung (21%) ebenfalls einen erheblichen Beitrag zum Gesamteinfluss leisten, während die Herstellung von PVC-Komponenten einen geringeren Einfluss hat (5% für die Herstellung von Polyethylen oder 4% für Polyvinylchlorid).

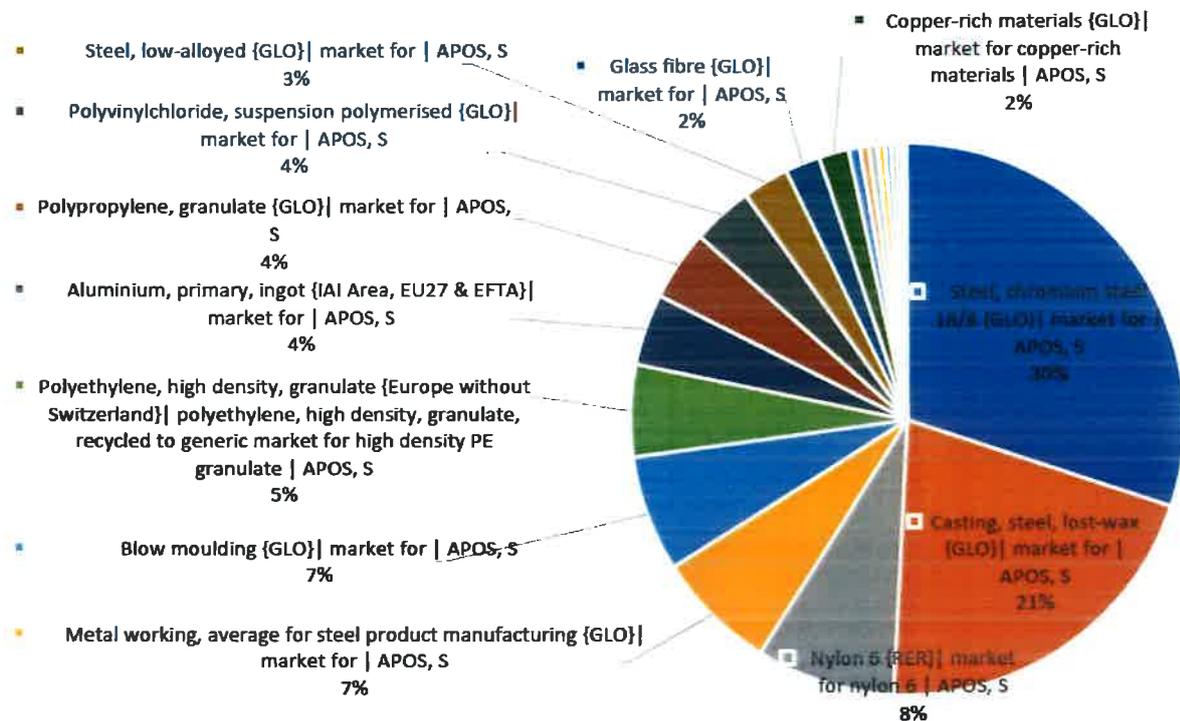


Abbildung 28 – Ergebnis nach Prozessen, Methode: IMPACT World+ Midpoint V1.03, Wirkungskategorie: climate change (short term), Allocation at Point of Substitution (APOS).

Aus diesen Ergebnissen geht hervor, dass die Herstellung und Verarbeitung von Stahl mit den gravierendsten Umweltauswirkungen verbunden sind. Dies lässt sich damit erklären, dass diese Prozesse äußerst energieintensiv sind. In diesem Zusammenhang und mit dem Ziel der Prozessoptimierung ist es ratsam, die Überlegung in Betracht zu ziehen, Edelstahlkomponenten beispielsweise durch PVC-Teile zu ersetzen. Es gibt jedoch mehrere Gründe, warum dies nicht möglich ist (zum Beispiel Haltbarkeit oder Widerstandsfähigkeit gegenüber Belastungen). Darüber hinaus könnte der Einsatz von Komponenten mit einem höheren Recyclinganteil das Gesamtergebnis von 602,39 kg CO₂-eq. weiter reduzieren. Eine genaue Einordnung des Ergebnisses ist erst im weiteren Verlauf des Projekts möglich, da anfangs ein Vergleich mit anderen Ökobilanzen aufgrund der gewählten funktionalen Einheit (1 Prototyp) nicht durchführbar ist. Durch die Änderung der funktionalen Einheit auf das Produkt, das durch den Betrieb des Prototyps erzeugt wird, nämlich die proteinreiche Biomasse, kann die Vergleichbarkeit mit anderen Studien sichergestellt werden, wie es im nächsten Schritt möglich sein wird. Des Weiteren sollte im Kontext der gewählten Systemgrenzen von "vom Ursprung bis zum Werkstor" betont werden, dass die Lebensdauer der Komponenten zu diesem Zeitpunkt noch nicht berücksichtigt wurde. Die erwartete lange Lebensdauer von bis zu 15 Jahren würde das Ergebnis erheblich relativieren. Die folgende Tabelle 12 zeigt die Auswirkungsbewertung des Baus des Prototyps, die mit der Methode IMPACT 2002+ V2.15 berechnet wurde. Das in Simapro erstellte Modell finden Sie in der folgenden Abbildung 29.

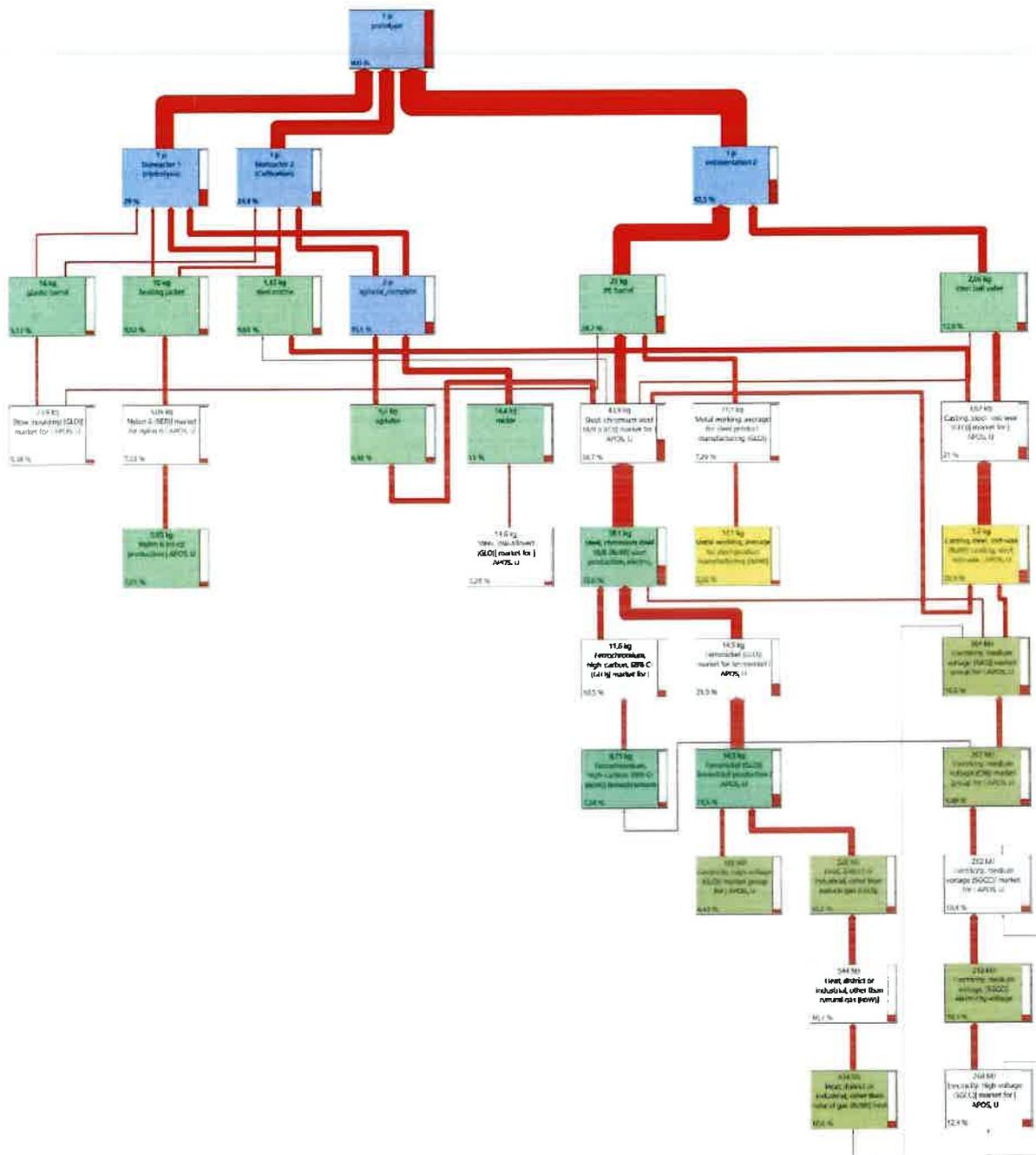


Abbildung 29 - Modellierung der Hydrolyse in SimaPro 9.5, FE: 93 kg Hydrolysat, Methode: IMPACT 2002+ V2.15, System: Allocation at Point of Substitution (APOS,U), 3 % Cut-Off-Kriterium, Wirkungskategorie: Global Warming Potential (GWP).

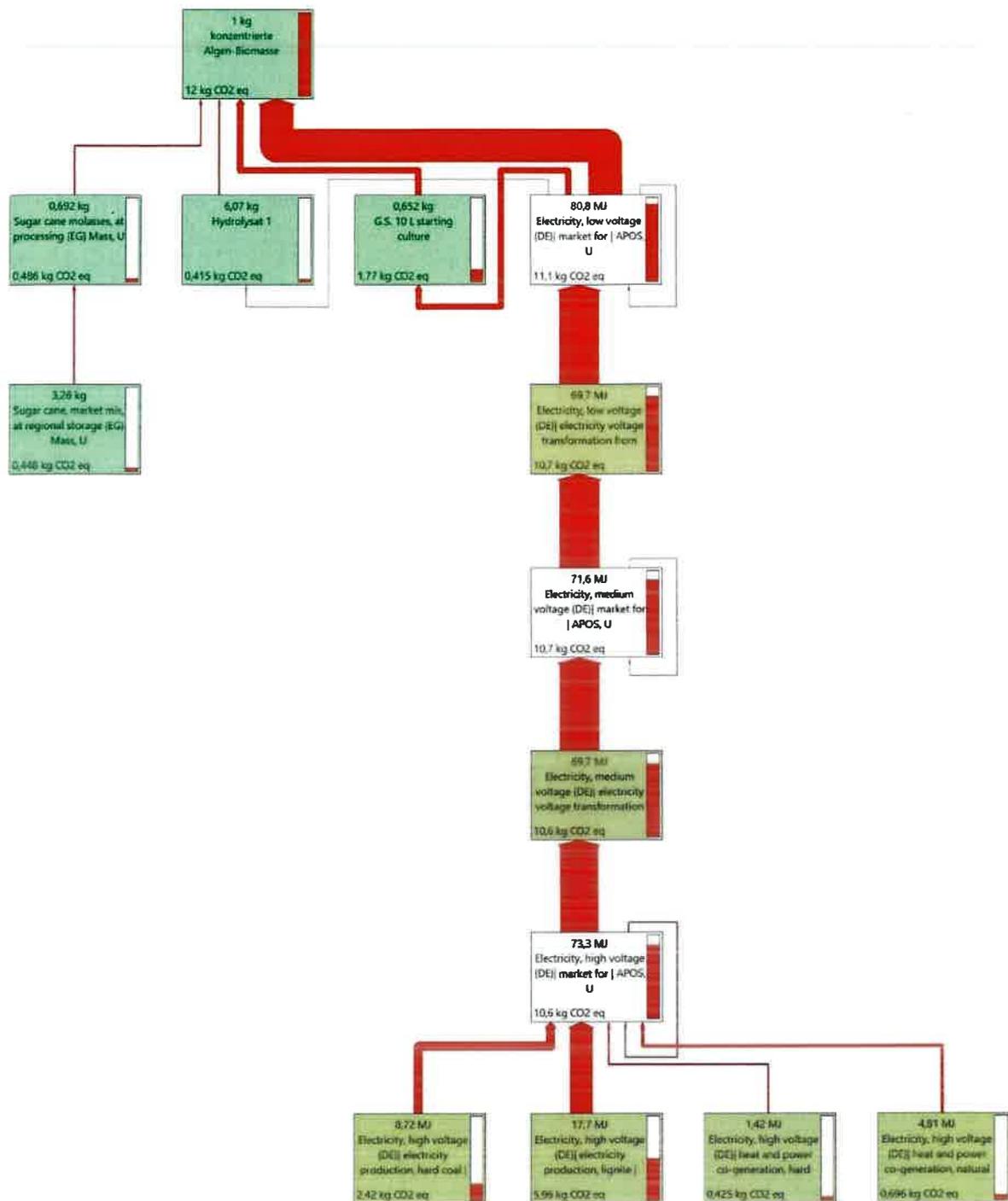
b. Mikroalgenkultivierung

Der Batch-Betrieb des Prototyps in Bezug auf die FE 2 erzeugt ein Treibhauspotential von 12,03 kg CO₂ eq und in der Wirkungskategorie Gewässerversauerung ein Ergebnis von 0,03 kg SO₂ eq. Des Weiteren wird im Rahmen der Wirkungskategorie Wasserverbrauch ein Wert von 0,42 m³ erreicht. Der Verbrauch von nichterneuerbarer Energien beläuft sich auf 184,75 MJ. Die Abbildung 30 zeigt die durchgeführte Modellierung der Kultivierung im Batch-Betrieb in SimaPro mit der Methode IMPACT 2002+ V2.15 nach der Charakterisierung Treibhauspotential mit einem Gesamtergebnis für die FE 2 von 12,03 kg CO₂ eq.. In dieser Abbildung ist erkennbar, dass die Bereitstellung von Strom im Rahmen aller Prozessschritte (inklusive

Energieverbrauch bei der Herstellung der Komponenten) mit 11,2 kg CO₂ eq (92,1 %) das größte Treibhauspotential besitzt. Um den Verbrauch auf die einzelnen Teilprozesse und Prozessschritte beziehen zu können, wurden die Ergebnisse genauer analysiert. Daher bildet Tabelle 14 die Ergebnisse dieser Analyse ab, mit Darstellung der 10 größten Teilprozesse im Zusammenhang mit der Einordnung zu den vier Prozessschritten. In dieser Tabelle wird nun deutlich, dass 9,44 kg CO₂ eq. ausschließlich auf den Stromverbrauch während des Batch-Betriebes zurückzuführen sind und somit den größten Einfluss auf das Ergebnis darstellen. Hierbei fällt vor allem die Kultivierung mit 9,22 kg CO₂ eq. ins Gewicht. Danach folgt die Herstellung der Starterkultur von *G. sulphuraria* mit 1,77 kg CO₂ eq., wobei auch in diesem Zusammenhang der Stromverbrauch für dieses Ergebnis verantwortlich ist. Die Herstellung der während der Kultivierung benötigte Zuckerrüben-Melasse erzeugt ein Treibhauspotential von 0,49 kg CO₂ eq..

Tabelle 14 - Aufteilung des Ergebnisses der Wirkungsabschätzung in der Kategorie Treibhauspotential auf die einzelnen Teilprozesse in den vier Prozessschritten

	Hydrolyse	Sedimentation 1	Kultivierung	Sedimentation 2	Gesamt
Teilprozesse			GWP in kg CO ₂ eq		
Strom (Produktion)	0.18	0.04	9.22		9.44
Konstruktion	0.04		0.08		0.12
Wasser			<0.01		0
Melasse			0.49		0.49
Schwefelsäure	0.02		0.01		0.03
Natronlauge		0.04		0.04	0.08
Enzyme	0.1				0.1
Starterkultur			1.77		1.77
Abwasser			<0.01		0
Abfall	-0.07	0.07			0
Summe	0.27	0.15	11.57	0.04	12.03



12

Abbildung 30 - Modellierung der Kultivierung in SimaPro 9.5, FE 2: 1 kg konzentrierte Algen-Biomasse, Methode: IMPACT 2002+ V2.15, System: Allocation at Point of Substitution (APOS,U), 3 % Cut-Off- Kriterium, Wirkungskategorie: Global Warming Potential (GWP)

F. AP 6 – Identifizierung von Vermarktungsstrategien sowohl Kommunikation als auch Transfer von Ergebnissen (M6-36)

Dieses AP zielt darauf ab, mögliche Kommerzialisierungsstrategien und Kommunikation, den Transfer von Ergebnissen und Konzepten für Stakeholder und andere Nutzungsstrategien zu identifizieren. Diese Aufgabe wird gleichermaßen vom Koordinator des Projekts (DIL e. V.) und den anderen Projektpartnern bearbeitet. Die vorgeschlagenen Aufgaben können der folgenden Liste entnommen werden:

- Kommunikation des Verfahrens und Austausch über die Ergebnisse mit anderen Stakeholdern insbes. Landwirt*innen;
- Etablierung eines Austausches zwischen Stakeholdern, um die Etablierung im ländlichen Raum zu fördern;
- Identifizierung von Vermarktungsstrategien und des Potenzials zur Wertgenerierung im ländlichen Raum;
- Präsentation der Forschungsergebnisse in Fachzeitschriften (z.B. landwirtschaftliches Wochenblatt), durch Vorträge und Betriebsbesichtigungen;
- Kontakt zu Organisationen und Verbänden (u.a. Landwirtschaftskammer) sowie Politik.

Für weitere Einzelheiten siehe Tabelle 13.

Tabelle 5 - Aktueller Stand verschiedener Aufgaben des AP6 des Projektes „AlgoWert“.

Time	Partner	Tasks
Aug 2022 – Jan 2023	DIL	Projekthomepageerstellung, Integration in Kommunikationsmedien (Linkedin, Researchgate, Twitter), Pressemitteilungen
		Entwicklung und Mitgestaltung von Informationsmaterial in Kooperation mit den anderen Projektpartnern
		Identifikation relevanter Stakeholder (insbes. Landwirt*innen) und Einbindung dieser in das Kommunikationsnetzwerk
	Weitere OG-Mitglieder	Identifikation relevanter Stakeholder (insbes. Landwirt*innen) und Einbindung dieser in das Kommunikationsnetzwerk
		Entwicklung und Mitgestaltung von Infomaterialien in Kooperation mit den andere Projektpartnern
Feb 2023 – Jan 2024	DIL	Unterstützung Versuchs und Anbauplanung für die Demonstrationsvideos
		Produktion von Demonstrationsvideos und Verbreitung in Social Media
		Integration der Projektergebnisse in den DIL-Jahresbericht 2023, Pressemitteilungen zur Projektmitte
		Publikation relevanter Ergebnisse in Fachzeitschriften
		Ergebnispräsentation und Vorträge auf Messen und Fachkongressen sowie online
	Weitere OG-Mitglieder	Entwicklung und Mitgestaltung von Infomaterialien in Kooperation mit den anderen Projektpartnern
		Vorführung des Demonstrationsprototyps auf Feld- und Hoftagen
	Unterstützung mit Produktion von Demonstrationsvideos	
Feb 2023 – Jan 2024	DIL	Unterstützung Versuchs und Anbauplanung für die Demonstrationsvideos
		Produktion von Demonstrationsvideos und Verbreitung in Social Media
		Integration der Projektergebnisse in den DIL-Jahresbericht 2023, Pressemitteilungen zur Projektmitte
		Publikation relevanter Ergebnisse in Fachzeitschriften
		Ergebnispräsentation und Vorträge auf messen und fach-Kongressen sowie online
	Weitere OG-Mitglieder	Entwicklung und Mitgestaltung von Infomaterialien in Kooperation mit den andere Projektpartnern
		Vorführung der Demostrationsprototyp auf Feld und Hoftagen
	Unterstützung mit Produktion von Demonstrationvideos	
Feb 2024	DIL	Organisation und Durchführung eines Projektworkshops zum Thema „Umwandlung landwirtschaftlicher Reststoffe in Tierfutter mit AlgoWert Reaktor in Bauernhof“

		Austausch mit anderen FuE-Vorhaben
		Publikation relevanter Ergebnisse in Fachzeitschriften (Open Access)
		Entwicklung einer Marketing- und Verwertungsstrategie, die auf die Verwertung des entwickelten Prototyps und der produzierten Biomasse ausgerichtet ist
	Weitere OG-Mitglieder	Technologies- und Wissenstransfer
		Austausch mit anderen FuE-Vorhaben
		Testen von Marketing- und Verwertungsstrategien
		Publikation relevanter Ergebnisse in Fachzeitschriften (Open Access)

Die Webseite des Projekts wurde von der Running Frames Corporation erstellt und kann zur Verbreitung des Projekts verwendet werden: <https://algowert.de/> ist in deutscher und englischer Sprache verfügbar, um ein breiteres Publikum anzusprechen. Bezüglich der Verbreitung des Projekts über Pressemitteilungen, wurden folgende Beiträge erstellt:

- [AlgoWert: „Algen-Smoothies“ für Schweine](#)
- [Forschungsinformationssystem Agrar und Ernährung - Informationsportal des Bundes und der Länder](#)
- [AlgoWert – Development of a prototype for converting agricultural residues into animal feed using heterotrophic microalgae](#)
- [DIL Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V.'s LinkedIn Post](#)

In Bezug auf die Meilensteine dieses Arbeitspakets befindet sich derzeit „6.1 Teilen von 5 Demonstrationsvideos auf einem YouTube-Kanal und in sozialen Medien (01.04.2023)“ in Vorbereitung. Diese Videos werden zu Beginn der Erprobung des Prototyps aufgenommen, sowohl bei Vorversuchen als auch bei Versuchen vor Ort. Der zweite Meilenstein „6.2 Workshop mit Stakeholdern“ zum Thema „Umwandlung von landwirtschaftlichen Reststoffen in Tierfutter mit dem AlgoWert-Reaktor in einem landwirtschaftlichen Betrieb (01.08.2024)“ wird in späteren Berichten vertieft. Derzeit suchen die Koordinatoren nach Angeboten und diskutieren mit verschiedenen Unternehmen, die die Organisation der beiden im Antrag vorgesehenen Workshops unterstützen können.

2.4.4. Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen

Das Projekt steht im Einklang mit den Nachhaltigkeitszielen der EU und fördert Innovationen im Bereich der landwirtschaftlichen Kreislaufwirtschaft.

2.4.5. Nebenergebnisse

Weitere Forschung hat das Verständnis für mikrobielle Interaktionen in Algenkultivierungssystemen verbessert.

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

A

2.4.7. mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern

Der Prototyp hat über die Schweinefütterung hinaus Anwendungsmöglichkeiten, einschließlich Aquakultur und der Produktion von Bio-Düngemitteln.

2.5. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis Sind verwertbare/nutzbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?

Das Projekt hat mehrere konkrete Vorteile für die Praxis hervorgebracht:

- **Validierte Mikroalgen-Kultivierungsprotokolle:** Landwirte können nun Mikroalgenproduktion mit landwirtschaftlichen Nebenprodukten umsetzen.
- **Entwicklung eines funktionalen Prototyps:** Der mobile Bioreaktor bietet eine skalierbare Lösung für die dezentrale Proteinproduktion.
- **Schweinefütterung:** Die Fütterungsversuche bestätigten die Machbarkeit der Mikroalgenverwendung als Nahrungsbestandteil.
- **Nachhaltigkeitsanalysen:** Lebenszyklusanalysen lieferten wertvolle Daten für zukünftige Implementierungen.
- **Unabhängigkeit:** Landwirte erhalten mehr Kontrolle über ihre Futtermittelversorgung und reduzieren ihre Abhängigkeit von externen Märkten.

2.6. (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Nach Abschluss des Projekts werden mehrere Möglichkeiten zur Nutzung der Ergebnisse untersucht:

- **Kommerzialisierung des Prototyps:** Interessensvertreter, darunter landwirtschaftliche Genossenschaften, haben Interesse bekundet, das System für eine breitere Anwendung anzupassen.
- **Integration in landwirtschaftliche Praktiken:** Landwirte, die an den Versuchen teilgenommen haben, erwägen eine Ausweitung der Mikroalgenproduktion für den langfristigen Einsatz.
- **Beitrag zur Politikgestaltung:** Die Ergebnisse unterstützen EU-Initiativen zur Reduzierung landwirtschaftlicher Abfälle und zur nachhaltigen Tierfütterung.
- **Weitere Forschungsinitiativen:** Neue Projektvorschläge werden entwickelt, um das System weiter zu optimieren und seine Anwendbarkeit über die Schweinehaltung hinaus, beispielsweise in der Aquakultur oder der Produktion von Bio-Düngemitteln, zu erweitern.

2.7. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

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

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

Das Algowert-Projekt hat mehrere zentrale Fragestellungen für zukünftige Untersuchungen aufgeworfen:

- **Optimierung der Hydrolyse-Effizienz:** Zukünftige Studien sollen verbesserte enzymatische Behandlungen erforschen, um die Nährstoffrückgewinnung aus pflanzlichen Reststoffen zu maximieren.
- **Langzeitwirkung auf die Tiergesundheit:** Erweiterte Fütterungsversuche sind erforderlich, um die langfristigen Auswirkungen von mit Algen angereichertem Futter auf die Gesundheit und Produktivität von Schweinen zu bewerten.
- **Ausweitung auf andere Nutztiere:** Untersuchungen sollen die Machbarkeit der Verwendung von Algen-basiertem Futter für Geflügel und Rinder prüfen.
- **Skalierung der Produktion:** Forschungen werden sich darauf konzentrieren, die wirtschaftliche Rentabilität der großflächigen Mikroalgenkultivierung in landwirtschaftlichen Betrieben zu verbessern.

2.8. Kommunikations- und Disseminationskonzept:

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

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

Die Ergebnisse des Algowert-Projekts wurden über mehrere Kanäle verbreitet:

- **Workshops und Stakeholder-Meetings:** Landwirte, landwirtschaftliche Berater und Branchenvertreter nahmen an Disseminationsveranstaltungen teil, um sich über die Projektergebnisse zu informieren.
- **Wissenschaftliche Publikationen:** Forschungsarbeiten, die Methodik und Ergebnisse detailliert darstellen, werden für die Einreichung in peer-reviewten Fachzeitschriften vorbereitet.
- **Konferenzpräsentationen:** Die Erkenntnisse wurden auf nationalen und internationalen Konferenzen zu Landwirtschaft und Nachhaltigkeit vorgestellt.
- **Medienberichterstattung:** Das Projekt wurde in landwirtschaftlichen Fachzeitschriften und auf Online-Plattformen vorgestellt, um die Bekanntheit seiner Innovationen zu erhöhen.

Der EIP AGRI-Förderrahmen hat sich als wirksam erwiesen, um sektorübergreifende Zusammenarbeit zu unterstützen und Lücken zwischen wissenschaftlicher Forschung und praktischer Landwirtschaft zu schließen. Das Algowert-Projekt hat erfolgreich demonstriert, wie landwirtschaftliche Abfälle in wertvolle Ressourcen umgewandelt werden können, was mit den übergeordneten Zielen der Nachhaltigkeit und der Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft übereinstimmt. Zukünftige EIP-finanzierte Projekte könnten von ähnlichen interdisziplinären Ansätzen profitieren, um dringende Herausforderungen in der Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion zu bewältigen.