Sachbericht zum Verwendungsnachweis
(Teil II – Eingehende Darstellung)

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Blaue
Bioökonomie
AlgenSaat

Umsetzungsprojekt AlgenSaat – Zugabe von Mikroalgen zur Entwicklung ökologischer Saatgutpillierung

im

Innovationsraum BaMS
(Bioökonomie auf Marinen Standorten)

FKZ: 031B0915R

Laufzeit: 01.02.2023 – 01.03.2025

Zuwendungsempfänger: Schierbecker Handels GmbH & Co KG

Verantwortliche Autor:innen: Dr. Ruth Gingold, Torben Schierbecker

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B0915R gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin / beim Autor.

Teil II Eingehende Darstellung

II. 1 Die Verwendung der Zuwendung und die erzielten Ergebnisse im Einzelnen

AP 1 – Projektorganisation
AP 2 – Auswahl Mikroalgen und Pflanzen
AP 3 – Coatingversuche
AP 4 – Keimversuche
AP 5 – Wachstumsversuche
AP 6 – Optimierung des Coatings
AP 7 – Keimversuche mit optimiertem Coating
AP 8 – Wachstumsversuche mit optimiertem Coating

II. 2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

II. 3 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

II. 4 Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

II. 5 Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekanntgewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

II. 6 Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF

Teil II: Eingehende Darstellung

II. 1 Die Verwendung der Zuwendung und die erzielten Ergebnisse im Einzelnen

Das übergeordnete Ziel des Projekts AlgenSaat ist die Integration vom Mikroalgen in ein neuartiges, umweltverträgliches Samencoating bestehend aus Biokohle und Superabsorber, als Alternative zu herkömmlichen, mit synthetischem Dünger und Pestiziden beladenen Coatings. Dafür sollen geeignete Algen/-kombinationen/"Algenmixe" (vorzugsweise aus Reinigungsprozessen) gefunden werden, um die Keim- und/oder Wachstumsrate zu verbessern.

Letztendlich soll ein ökologisches Samencoating mit Mikroalgen als Produkt durch die Firma Schierbecker bzw. das Spin-off Seedrise (ehemals Farmula) vermarktet werden, wobei synthetische Dünger und synthetische Pestizide reduziert oder ganz vermieden werden sollen. Die Verwendung des „Algenmix" aus der Prozesswasserreinigung soll außerdem dazu beitragen, endliche Ressourcen wie z.B. Phosphor rückzugewinnen und somit zu einer echten Kreislaufwirtschaft beizutragen. Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden durch die Arbeitsgruppe von Prof. Rüdiger Schulz „Physiologie und Biotechnologie der Pflanzlichen Zelle" der CAU Kiel in Bachelor- und Masterarbeiten und in wissenschaftlichen Publikationen verwertet.

AP 1 – Projektorganisation

1.1. Gesamtorganisation und Kooperationsinitiativen

Die Firma Schierbecker Handels GmbH &Co.KG hat sich um die gesamte Organisation gekümmert. Es wurden regelmäßig interne Projekttreffen organisiert und durchgeführt, um den Status Quo und die fortlaufende Planung zu besprechen und durchzuführen. Der Kontakt mit der BaMS-Gesamtleitung wurde über die gesamte Projektlaufzeit hindurch gepflegt, um – wo nötig – technische, finanzielle und inhaltliche Fragen in Abstimmung mit der BaMS-Projektleitung zu klären.

Des weiteren wurden mehrere Treffen mit externen Interessenten/Interessensgruppen durchgeführt, die zu Kooperations- und Anschlussmöglichkeiten auch über die Projektlaufzeit hinaus führen sollen. So zum Beispiel:

- Vertreter:innen der Landwirtschaftskammer (Besprechung zur eventuellen Nutzung von Versuchsflächen)
- Vertreter:innen aus der Industrie (in alphabetischer Reihenfolge):
    - Agraforum (Biotechnologie)
    - AGRAVIS AG (Aufbereitung, Versuchswesen und Vertrieb)
    - Amandus Kahl (Aufbereitungstechnik)
    - Bayer AG (Chemie)
    - BayWa AG (VC, Entwicklung, Agrarhandel)
    - Ceravis AG (Agrarhandel)
    - DLG A/S (Dänemark/ Handel)
    - EIRICH AG (Maschinenbau, Granulierung von Düngemitteln)
    - Eurofins (Versuchswesen)
    - Farmsaat (Saatgutzüchtung)
    - Fraunhofer Institut (Versuchswesen)
    - Green Legacy (Biotechnologie)

- HaGe Kiel (Agrarhandel)
- I.G. Pflanzenzucht (Saatgutzüchtung)
- Klim (Klimazertifikate)
- KWS (Internationale Saatgutzüchtung)
- K+S (internationale Düngemittelherstellung)
- Landkreis Cuxhaven (Moorvernässung)
- Martin Bauer Group (Verwendung von organischen Coatings bei Heilkräutern wie Baldrian, um diese als Zwischenfrucht für Landwirte attraktiv zu machen)
- Medea GmbH Biotechnologie)
- NPZ (Norddeutsche Saat- und Pflanzzucht)
- Petkus (Aufbereitungstechnik)
- Progress Agrar (regenerative Landwirtschaft/ Handel)
- SATEC (Maschinenhersteller und Produktentwicklung für Coating-Massen)
- Sea&Sun Organic (Nutzung von Restmaterialien aus der Haematococcus-Produktion)
- SeedForward (HydroGel Beize)
- Skyseed (Aufforstungs-Technologie mittels Drohne)
- SLG GmbH (Saatgutvermehrung)
- Stiftung Naturschutz (Moorvernässung)
- Team AG (Agrarhandel)

1.2. Öffentlichkeitsarbeit

- ***Social Media:*** Auf den Plattformen LinkedIn und Instagram wurden mehrere Beiträge veröffentlicht
- ***Informationsveranstaltungen an der CAU:***
  - Bei mehreren Informationsveranstaltungen im Botanischen Institut der CAU wurden allen Projektbeteiligten und Projektinteressierten Hintergrundinformationen zur Algenproduktion, Algenernte und zur Thematik der Eutrophierung vorgestellt.
  - In der Arbeitsgruppe von Prof. Rüdiger Schulz, Botanik, CAU, wurden im Rahmen von Arbeitsgruppentreffen und Lehre (z.B. Mastermodul Blaue Bioökonomie) mehrere Vorträge gehalten
  - Im Rahmen des YES! MINT Programms wurde das Projekt Gymnasialschüler:innen vorgestellt
- ***Konferenzen, Tagungen und Startup-Events:***
  - BaMS Jahressymposium: Poster und Vortrag (12.9.2023 in Oldenburg und 1.+2.10.2024 in Kiel)
  - Teilnahme an der German Biochar Konferenz (13.-15. Nov. 2023 in Berlin)
  - Teilnahme am Rootcamp, Business Akzelerator für Innovationen im Ag-Tech Bereich
  - Pitch High Tech GründerFonds – Aufnahme ins Akzeleratoren-Coachingprogramm
  - Pitch Seedhouse Accelerator – Aufnahme ins Akzeleratoren-Coachingprogramm
  - Gemeinschaftsstand mit BaMS Vertifarm Messe in Dortmund (8.+9.10.2024)
  - UNO, COP 16, Doha (Combat Desertification Congress, Oktober 2024)
  - Rentenbank Frankfurt: Venture Capital Messe (9.-10-.11.2024)
  - SeedHouse Osnabrück: Ausstellung (17.11.-18.11.2024)
- ***Ausstellungen***
  - Stand am Tag der Meeresschutzstadt Kiel (8. Juni 2023 und 2024;) https://ocean-summit.de/allgemein/tag-der-meeresschutzstadt-kiel-8-juni-2024/)
  - Stand am Waterkant Festival und Ausstellung (16. Juni und bis August 2023)

  - Stand an der Norla-Messe Rendsburg, September 2023
  - Grüne Innovationstage Schleswig-Holstein (Gut Helmstorf Juni 2023 und Hof Steinwehr Mai 2024)
  - Stand an der Norla-Messe Rendsburg (September 2024)
- ***Information vor Ort an den Feldversuchen:***
  - Anbringen einer Informationstafel für Fussgänger:innen
  - Informationsveranstaltung in Hohenlockstedt am Feld mit der Höheren Landbauschule (6. Nov. 2023)
  - Vor-Ort-Begehung Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
  - Vor-Ort-Begehung Martin Bauer Group
  - Informationsveranstaltung in Hohenlockstedt am Feld mit Landwirten aus der Region
  - Vor-Ort-Begehung Team AG
  - Vor-Ort Begehung Agraforum
  - Vor-Ort Begehung Progress Agrar und SVG
  - Vor-Ort Begehung Farmula
- ***TV Auftritt***
  - Französisches Fernsehen, TF1 (Ausstrahlung am 11. Dez. 2023; https://www.tf1info.fr/player/cda28fd0-fda2-4c98-999c-e0799b5b6464/)

AP 2 – Auswahl Mikroalgen und Pflanzen

2.1. Mikroalgen

Im ersten Projektjahr (2023) wurden käufliche Formen der Mikroalgen (bzw. Cyanobakterien) *Chlorella*, *Spirulina* und *Scenedesmus* ausgewählt. Eigentlich sollte eine schnell sedimentierende Mikroalgen-Mischkultur (im Folgenden als „Algenmix“ bezeichnet), die zur Reinigung von häuslichen Abwässern und von Aquakultur-Prozesswasser dient, eingesetzt werden. Diese war zum Zeitpunkt des Starts des AlgenSaat Projekts und der ersten Testversuche noch nicht in ausreichender Menge vorhanden. Die ersten Versuche mit den gekauften Algen waren insofern sinnvoll, als der Algenmix ebenfalls zu großen Teilen aus eben diesen drei Mikroalgen (Cyanobakterien) besteht. Chlorella und Scenedesmus sind zudem typischerweise in Mischkulturen aus der Abwassereinigung zu finden.

Der Algenmix selber stammt ursprünglich aus einer natürlichen Quelle und wird von der Arbeitsgruppe Prof. R. Schulz als Stammkultur kultiviert und in verschiedenen BaMS Projekten (z.B. FEMAK) eingesetzt. Nachdem im ersten Projektjahr Coatingmischungen mit den drei oben genannten Stämmen durchgeführt worden waren, wurden im zweiten Projektjahr Testcoatings mit dem Algenmix durchgeführt. Die notwendige Menge an Biomasse konnte für die Keim- und Wachstumsversuche in der Klimakammer aus der Vorkultur geerntet werden, für die Feldversuche kam die Biomasse aus dem FEMAK Algenbioreaktor in Plön, so wie das perspektivisch in einer echten Kreislaufwirtschaft geschehen soll.

2.2. Testpflanzen

Für die diversen Keim- und Wachstumstests wurden unterschiedliche Pflanzen gewählt, die alle wirtschaftlich relevant sind – sei es im Gartenbau oder in der Landwirtschaft. So wurden bei den ersten Versuchen drei viel gekaufte Küchenkräuter ausgewählt: Petersilie, Basilikum und Kresse.

In der Folgearbeit wurden erneut Basilikum (zum Vergleich mit vorangegangenen Arbeiten), und neu Baldrian (Kandidat als neue Zwischenfrucht für Landwirt:innen) und Raps (bedeutende landwirtschaftliche Nutzpflanze in Deutschland) gewählt. In den weiteren Arbeiten wurden dann jeweils nur Raps (*Brassica napus*) der Sorte Picard verwendet. Deutschland gehört zu den größten Rapsproduzenten Europas. Dabei wird die Pflanze vor allem zur Öl- und Futterproduktion verwendet. Das Saatgut konnten in handelsüblicher Qualität erworben werden mit einer Keimgarantie von 99%. Auch konnte dieselbe Charge für Keim- und Topfversuche sowie für Feldversuche verwendet werden, was den Vergleich der Tests erleichtert. Ein Keim-Versuch sowie ein Feldversuch wurde außerdem mit Mais (*Zea mays*) durchgeführt. Mais wächst auf gut einem Fünftel der deutschen Landwirtschaftsfläche und hat in den letzten Jahrzehnten massiv an Bedeutung gewonnen.

AP 3 – Coatingversuche

3.1. Entwicklung des Basiscoatings

Um eine gut funktionierende Basis-Coatingmischung zu finden, wurde zuerst nur mit einer Mischung aus Biokohle und Superabsorber gearbeitet. Dazu wurden vier verschiedene Coating-Schichtdicken (Verhältnis von Gewicht an Samen:Gewicht an Biokohle) in Kombination mit vier verschiedenen Superabsorber-Anteilen getestet (insgesamt 16 Versuchsgruppen plus Kontrolle).

3.2. Basiscoating mit Mikroalgen

In einem weiteren Schritt wurde die Zugabe von Mikroalgen getestet. Es wurden verschiedene Anteile (5%, 10% und 25%) der Mikroalgen (Cyanobakterien) *Spirulina*, *Chlorella* und *Scenedesmus* zur Basismischung hinzugegeben. Da zwischenzeitlich ein neuer Absorber zur Verfügung stand, wurden in erneut die optimale Grundmischung, d.h. Absorber-Anteile und Schichtdicken, getestet. Der Absorber stellt einen wichtigen Kostenfaktor dar und wird bei gleichbleibenden Ergebnissen möglichst gering gehalten. Das Anmischen der Coatingmasse und das Ummanteln der Samen veränderte sich durch die Beigabe von Mikroalgen. Mit der Zugabe von *Scenedesmus* und *Chlorella* wurde der Coating-Prozess verbessert, die Masse ließ sich einfacher auf das Saatgut aufbringen, die „Klebrigkeit“ wurde erhöht. Auch die Verwendung des Mikroalgenmixes aus dem Bioreaktor vereinfachte den Coatingprozess. Hingegen wurde durch die Zugabe von *Spirulina* der Prozess erschwert. Die Gründe hierfür sind unklar.

AP 4 – Keimversuche

4.1. Keimtests an Basilikum, Petersilie und Kresse mit Basiscoating

Nach mehreren Probeversuchen erfolgten die ersten Keimtests auf viereckigen Petrischalen, die mit feuchtem Filterpapier ausgelegt waren. Für die Keimtests auf Platten wurde ein detailliertes Protokoll erarbeitet, das in Folgeversuchen übernommen werden konnte und weiterhin verwendet werden kann. Die Bedingungen und Durchführung der Tests erfolgte in Anlehnung an die ISTA Regeln 2018 (“International Rules for Seed Testing,” 2018) bei konstanter Temperatur und konstantem Tag/Nacht-Rhythmus in der Klimakammer. Die Tests wurden an drei wirtschaftlich interessanten Pflanzen (Heimgartenmarkt, viel gekaufte Küchenkräuter) durchgeführt: Petersilie (*Petrosilenum crispum*), Basilikum (*Ocimum basilicum*) und Kresse *(Lepidium sativum)*. Die Tests ergaben, dass sich sowohl die Coatingdicke als auch der Absorberanteil sowie die Interaktion der beiden Faktoren signifikant auf die Keimrate auswirkt. Jedoch konnte unabhängig von der Pflanzenart gezeigt werden, dass ein hoher Absorberanteil die beste Keimrate hervorbringt. Die

Tests und Ergebnisse waren Bestandteil des Forschungspraktikums und der Bachelorarbeit von Carlos Lorenzo am Botanischen Institut der CAU.

4.2. Keimtests an Basilikum, Baldrian und Raps mit Basiscoating mit Mikroalgen

In weiteren Platten- und Topfversuchen wurde anschließend der Effekt von Mikroalgen in der Coatingmischung auf die Keimrate getestet. Auch für die Topfversuche wurde ein detailliertes Protokoll erarbeitet, das in Folgeversuchen eingesetzt wurde. Es wurden verschiedene Anteile (5%, 10% und 25%) der Mikroalgen (Cyanobakterien) *Spirulina*, *Chlorella* und *Scenedesmus* zur Basismischung hinzugegeben. Die verwendeten Pflanzen waren Basilikum (zum Vergleich mit vorangegangenen Arbeiten und weil es sich um eine wichtige Küchen- und Heimgartenpflanze handelt), Baldrian (*Valeriana officinalis;* (Kandidat als neue Zwischenfrucht für Landwirt:innen) und Raps (*Brassica napus;* bedeutende landwirtschaftliche Nutzpflanze in Deutschland). Für den Raps ergaben Vorversuche eine optimale Schichtdicke des Coatings von 1:3 mit einem Absorberanteil von 5%. Für Baldrian und Basilikum ergab sich ein optimales Mischverhältnis von 1:5 mit einem Absorberanteil von ebenfalls 5%. Die Ergebnisse der Keimversuche zeigten keine eindeutige, artenübergreifende Tendenz. Beim Basilikum wirkten sich hohe Anteile (25%) an Mikroalgen negativ auf die Keimrate aus, auch die Keimung war verzögert, hingegen wirkten sich niedrigere Anteile von 5% nicht auf die Keimung aus. Beim Raps wirkten sich Anteile an Mikroalgen im Coating tendenziell generell schlecht auf die Keimrate aus. Beim Baldrian wirkte sich ein hoher Anteil (25%) an Mikroalgen negativ auf die Keimrate aus, allerdings nicht in den Topfversuchen. Die Tests und Ergebnisse waren Bestandteil des Forschungspraktikums und der Masterarbeit von Kathrin Biskop am Botanischen Institut der CAU.

AP 5 – Wachstumsversuche

5.1. Wachstumsversuche mit Basilikum, Baldrian und Raps in Töpfen – Coating mit Mikroalgen

In Topfversuchen wurde anschließend der Effekt der Mikroalgen in der Coatingmischung auf die Wachstumsrate getestet. Auch für die Topfversuche wurde ein detailliertes Protokoll erarbeitet, das in Folgeversuchen zum Einsatz kam und weiterverwendet werden kann. Die Wachstumsrate wurde anhand der Bestimmung von Frisch- und Trockengewicht bestimmt. Es wurden verschiedene Anteile (5%, 10% und 25%) der Mikroalgen (Cyanobakterien) *Spirulina*, *Chlorella* und *Scenedesmus* zur Basismischung hinzugegeben. Die verwendeten Pflanzen waren wiederum Basilikum, Baldrian und Raps. Die Ergebnisse der Wachstumstests zeigten keine eindeutige, artenübergreifende Tendenz. Beim Basilikum wirkten sich hohe Anteile (25%) an Mikroalgen negativ auf die Wachstumsrate aus. Beim Raps wirkten sich Anteile an Mikroalgen im Coating tendenziell generell schlecht auf die Wachstumsrate aus. Beim Baldrian wirkte sich ein hoher Anteil (25%) an Mikroalgen nicht negativ auf die Wachstumsrate aus. Die Tests und Ergebnisse waren Bestandteil des Forschungspraktikums und der Masterarbeit von Kathrin Biskop am Botanischen Institut der CAU.

Aufgrund der nicht eindeutigen Forschungsergebnisse ist die optimale Mischung noch nicht gefunden worden. Es besteht die Vermutung, dass je nach Pflanze ein optimales Mischverhältnis gefunden werden muss, und es keine generell gültige „Allzweckmischung“ gibt, die sich auf alle Pflanzen gleich positiv oder negativ auswirkt.

5.2. Feldversuch mit Raps – Basiscoating (ohne Mikroalgen)

Im Bewusstsein darum, dass sowohl Petrischalen als auch Töpfe eine künstliche bzw. eingeschränkte Form der natürlichen Bedingungen darstellen, wurde im September 2023 der erste Feldversuch auf einer Ackerfläche in Hohenlockstedt durchgeführt: Auf drei Teststreifen wurde gecoateter Winterraps und auf drei Teststreifen ungecoateter Raps (Kontrolle) ausgebracht. Es wurden bei keiner Versuchsgruppe Mikroalgen beigemischt, da erst das Basiscoating unter natürlichen Bedingungen gestestet werden sollte. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Teststreifen mit konventionellen landwirtschaftlichen Maschinen und nach gängigen landwirtschaftlichen Praktiken bearbeitet wurden. Damit könnten Landwirt:innen für Real-Labor Versuche auf dem Acker gewonnen werden, ohne dass dabei ein signifikanter Mehraufwand geleistet werden muss.

Die Ergebnisse dieses Feldversuchs zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen Pflanzen mit und ohne Coating, weder in der Keimrate (Anzahl Pflanzen pro m^2) noch im Wachstum (Keimstadium BBCH) (Abb. 1).

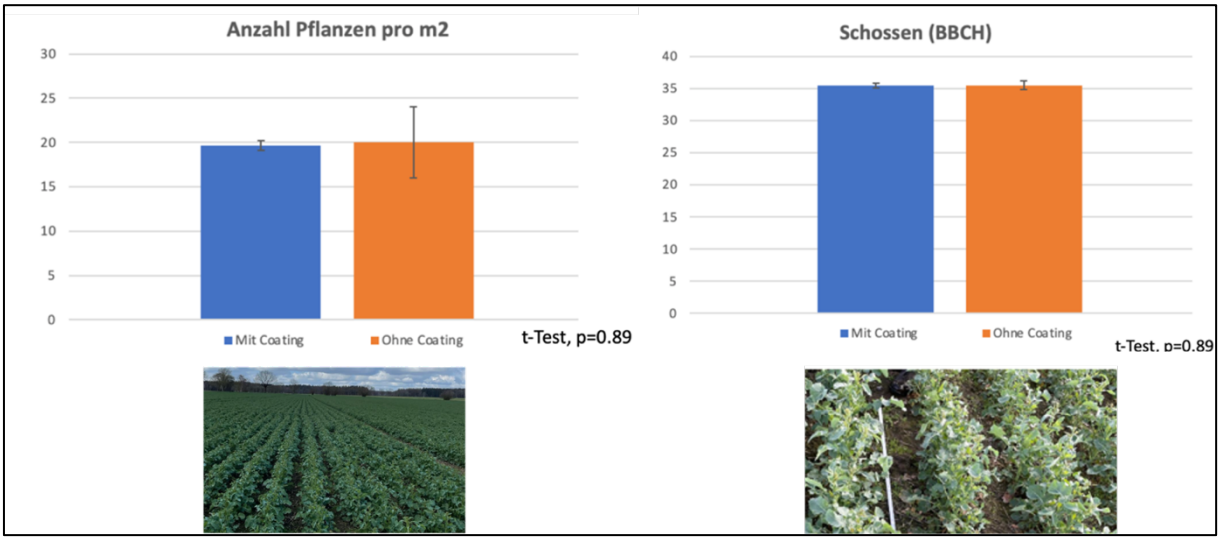


Abbildung 1: Keimrate (Anzahl Pflanzen pro m^2) und Keimstadium (Schossen BBCH) im März 2024.

Zwei Monate nach Aussaat (6. November 2023) zeigte sich, dass gecoatete Rapspflanzen eine signifikant höhere Blattmasse (ca. 30%) aufweisen als ungecoatete (T-Test, p=0,04; Abb. 2). Auch wurde im Juli 2024 die Wurzelmasse berechnet und festgestellt, dass Pflanzen mit Kohlecoating eine signifikant höhere Wurzelmasse haben (T-Test, p=0,006; Abb. 2).

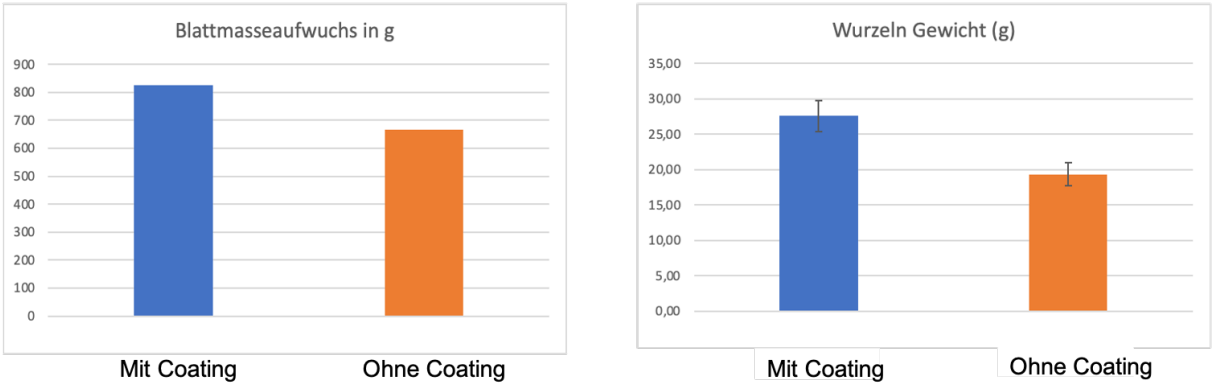
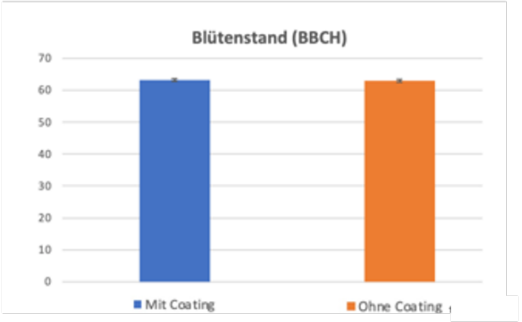


Abbildung 2: Blattmasse und Wurzelwachstum von Rapspflanzen mit und ohne Coating.

Am 11. April 2024 wurde der Blütenstand verglichen und es konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Abb. 3). Entsprechend wurde bei der Ernte am 21. Juli 2024 kein signifikanter Unterschied im Ertrag zwischen dem Raps mit und ohne Kohlecoating festgestellt (Abb. 3).



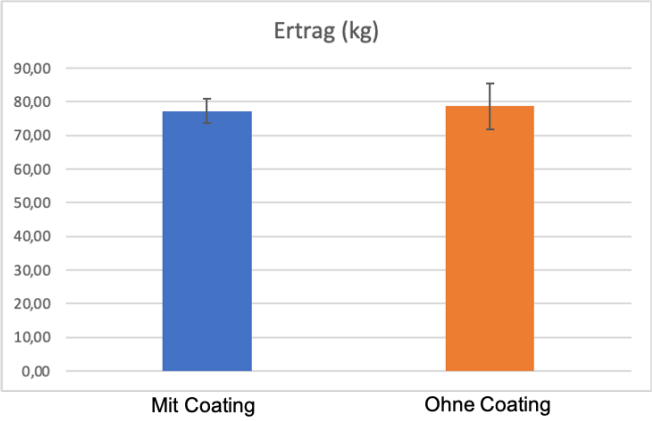


Abbildung 3: Blütenstand (April 2024) und der Ertrag (Juli 2024) von Raps mit und ohne Coating.

Nach diesem ersten Feldversuch kann insgesamt ein erstes Fazit gezogen werden: Bei gleichbleibender Keimrate, Wachstum und Ertrag weisen die Rapspflanzen mit Kohlecoating (ohne Mikroalgen beigemischt) eine höhere Blattmasse und besseres Wurzelwachstum auf im Vergleich zu den Pflanzen ohne Coating. Dies ist insbesondere für die Bodenbeschaffenheit wichtig, da ein verstärktes Wurzelwachstum den Boden besser durchlüftet und mehr Mikrolebensräume für Mikrolebewesen entstehen, was insgesamt für die Bodengesundheit und den Humusaufbau von Vorteil ist. Langfristige Folgen im Sinne von mehrjährigem Ausbringen von gecoatetem Saatgut und die Auswirkungen auf die Bodengesundheit müssten in weiteren Versuchen getestet werden.

AP 6 – Optimierung des Coatings

6.1. Pflanzensamencoating für Raps mit integriertem „Algenmix“

Im letzten Schritt wurde dann schließlich der Algenmix aus dem „Reinigungsbioreaktor“ an der Kläranlage in Plön verwendet (BaMS-Projekt FEMAK). Auch hier wurden unterschiedliche Mischungen ausprobiert. Die notwendige Menge an Biomasse konnte für die Keim- und Wachstumsversuche in der Klimakammer aus der Vorkultur geerntet werden, für die Feldversuche kam die Biomasse direkt aus dem Algenbioreaktor in Plön, so wie das perspektivisch in einer echten Kreislaufwirtschaft stattfinden soll. Mit dem Wissen, dass Nährstoffe in Mikroalgen in organischer Materie gebunden sind, wurde versucht, mit diversen Aufbereitungsmethoden eine Nährstofffreisetzung zu erzielen. Dafür wurden die freigesetzten Phosphat- und Nitratmengen nach einer Gefriertrocknung, zwei Ofentrocknungen (60°C und 105°C) und einer nicht-getrockneten Kontrollgruppe mit und ohne vorherigen Aufschluss (Gefrierauftauen) gemessen. **Die Ergebnisse zeigten, dass der Algenmix eine potenzielle Phosphorquelle darstellt, dagegen als Stickstofflieferant aufgrund zu geringer Gehalte weniger geeignet ist. Zudem zeigte sich, dass die Kombination aus Ofentrocknungen und vorherigem Gefrierauftauen am meisten Nährstoffe freisetzte.** Im Anbetracht von Umsetzbarkeit, Zeit- und Energieeffizienz im Sinne einer Produktentwicklung, entschied man sich für die Keim-, Wachstums- und Feldversuche für die Ofentrocknung bei 60°C ohne Gefrierauftauen. Für den Coating-Prozess für die Versuche mit Raps wurde dann also der aus der Reinigungsanlage in Plön stammende Algenmix bei 60°C getrocknet und mit der Biokohle-Absorbermischung vermengt. Für die Topfversuche wurden zwei

Pillierungsvarianten mit unterschiedlichen Algenmixanteilen (5% und 25%) sowie eine reine Algenmixpillierung ausprobiert. Für den Feldversuch wurde zusätzlich eine Mischung mit 50% Algenmixanteilen produziert. Dabei zeigte sich, dass auch ein reines Algenmixpulver-Coating gut auf das Saatgut aufgebracht werden kann. Die Arbeit rund um die Bioverfügbarkeit von Stickstoff und Phosphor waren Teil der Bachelorarbeit von Deborah Weller am Botanischen Institut der CAU.

6.2. Pflanzensamencoating für Mais mit Biokohlen unterschiedlichen Ursprungs

Aufgrund einer Beobachtung, die abseits dieses Projektes gemacht wurde, nämlich dass Pflanzensamen, welche mit Biokohle aus Olivenkernen umschichtet waren, weniger gut keimten, wurden außerdem Coatings mit Biokohle unterschiedlicher Herkunft ausprobiert. Die getesteten Biokohlen umfassten eine Biokohle aus Kakao-Schalen (Circular Carbon), aus regionalem Holz (Novocarbo), aus Zellulosefasern (Sonnenerde), und aus regionalen Pflanzenresten (Block Kohle). Auf den Coating-Prozess an sich hatten die unterschiedlichen Kohlen keinen Einfluss. Diese Arbeit war Teil des Forschungspraktikums von Janes Schröder am Botanischen Institut der CAU.

6.3. Coating von N und P Düngerkügelchen mit integriertem „Algenmix“ für Raps

Im Sinne der Produktentwicklung wurde der Versuch durchgeführt, nicht die Pflanzensamen, sondern Düngerkügelchen zu ummanteln. Die Annahme dabei ist, dass die in den Mikroalgen enthaltenen Mikronährstoffe die Makronährstoffaufnahme verbessern und dadurch eine Reduktion der Düngermenge erreicht werden kann. Dabei wurden jeweils konventionelle Stickstoff Düngerkügelchen (Harnstoff; CH_4N_2O) und konventionelle Phosphor (Triplesuperphosphat (P_2O_5) mit einer Mischung aus Pflanzenkohle und entweder 5% oder 50% Mikroalgenmix-Anteil ummantelt und zu nicht-gecoateten Rapssamen bei der Aussaat hinzugegeben.

6.4. Entwicklung eines Pflanzenschutzmittels auf Basis von Mikroalgen

Mit der Idee der Entwicklung eines Pflanzenschutzmittels auf Basis von Mikroalgen wurden methodische Ansätze erarbeitet, um Experimente zum Nachweis von wachstumshemmenden Wirkungen von *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* und *Arthrospira platensis* auf die Bakterien *Bacillus altiduinis*, *Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas syringae*, *Pantoea ananatis*, *Acinetobacter junii* und *Eschericha coli* und die Pilze *Fusarium equiseti* und *Fusarium graminearum* durchzuführen. Diese Arbeit stellte sich als sehr kompliziert und die Thematik der Pflanzenschutzmittel als sehr komplex heraus. Für den Nachweis wurde ein Plattendiffusionstest gewählt, bei dem sich das Ausplattieren der Mikroorganismen mit Top-Agar als die effizienteste getestete Methode herausgestellt hat. Mikroalgenmischkulturen sind in einem solchen Test jedoch nicht auszuwerten, da sich die darin enthaltenen Mikroorganismen auf der Platte selbst ausbreiten. Bei der Kultivierung der Mikroalgen zeigte sich ein größerer Biomassenzuwachs in Knieseröhren als in Erlenmeyerkolben. Aufgrund einer fehlenden Kontrolle sind keine Aussagen über den Erfolg des Aufschlusses und das Vorhandensein von wachstumshemmenden Substanzen mit den getesteten Algen zu machen. Die verschiedenen Tests und Ansätze wurden in der Bachelorarbeit von Linnea Schwetje am Botanischen Institut der CAU durchgeführt.

AP 7 – Keimversuche mit optimiertem Coating

7.1. Raps in Töpfen – Coating mit integriertem Mikroalgenmix

Die unterschiedlichen Anteile an Mikroalgenmix (5%, 25% und 100%) im Coating hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Keimungsraten von Raps, der unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer in Töpfen gesät worden war (Kruskal-Wallis-Test, p=0,1199; Abb. 4). Die Keimrate betrug bei allen Versuchsgruppen über 90%.

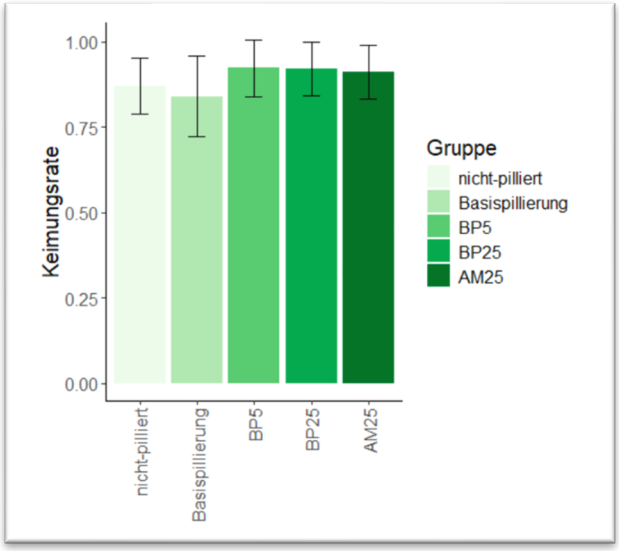


Abbildung 4: Mittlere Keimungsraten von Raps in Topfversuchen in der Klimakammer nach 28 Tagen (n = 10). Basispillierung = Biokohlecoating ohne Mlkroalgenmix; BP5= Biokohlecoating mit 5% Mlkroalgenmix-Anteil; BP25 = Biokohlecoating mit 25% Mikroalgenmix-Anteil; AM25 = reines Mikroalgencoating.

7.2. Keimtests mit Mais in Töpfen mit Basiscoatings aus Biokohle unterschiedlichen Ursprungs

Um zu testen ob Coatings mit Biokohle unterschiedlichen Ursprungs einen Einfluss auf die Keimfähigkeit von Mais haben, wurde in Topfversuchen die Keimrate ermittelt. Die Versuchsgruppen umfassten eine Biokohle aus Kakao-Schalen (Circular Carbon), aus regionalem Holz (Novocarbo), aus Zellulosefasern (Sonnenerde), und aus regionalen Pflanzenresten (Block Kohle). Die Ergebnisse zeigten, dass im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Coating nur die Sonnenerde-Kohle einen signifikant negativen Einfluss auf die Keimrate hat (ANOVA, p= 0.045; Abb. 5). Die restlichen Kohlen zeigten untereinander und im Vergleich zur Kontrollgruppe keine unterschiedlichen Keimraten. Für den darauffolgenden Feldversuch (s. 8. 3.) entschied man sich daher aus praktischen Gründen für die Block-Kohle, da diese aus der Region stammt und kontinuierlich zur Verfügung steht.

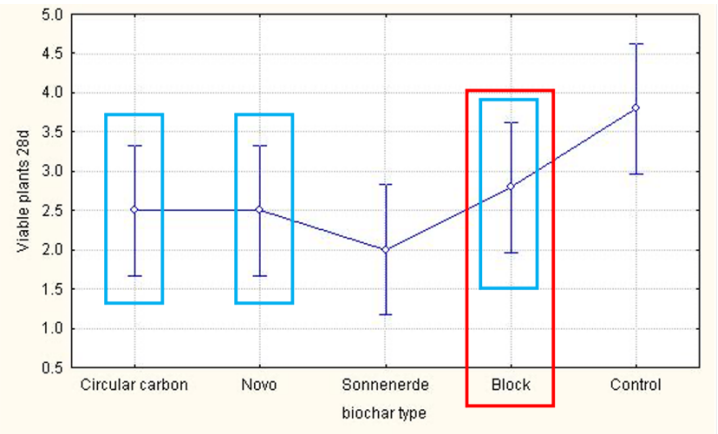


Abbildung 5: Anzahl lebenstüchtiger Maispflanzen pro Topf (max. 5) 28 Tagen nach der Aussaat. Die Maissaat war mit Biokohle unterschiedlichen Ursprungs ummantelt worden: Kakaoschalen (Circular Carbon), regionales Holz (Novo Carbo), Zellulosefasern (Sonnenerde) und regionale Pflanzenreste (Block).

7.3. Raps in Töpfen – Gecoatete Düngerkügelchen mit integriertem Algenmix

Die unterschiedlichen Coatings der Düngemittel zeigten keinen signifikanten Unterschied auf die Keimungsrate nach 21 Tagen (Kruskal-Wallis- Test: df =5, p= 0,5784; Abb. 6). Die Keimungsrate lag bei allen Versuchsgruppen bei über 90%.

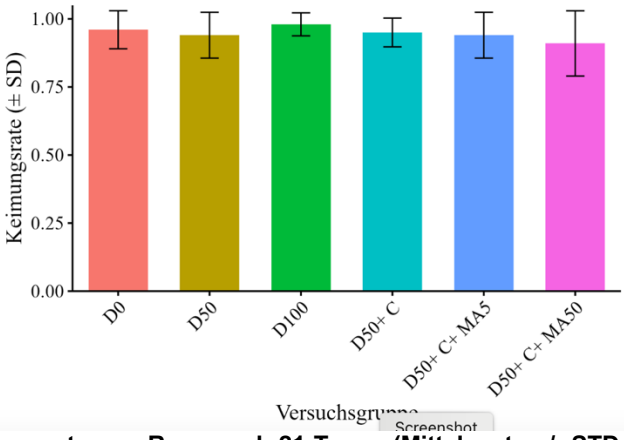


Abbildung 6: Mittlere Keimungsrate von Raps nach 21 Tagen (Mittelwerte =/- STD; n=10). Die Versuchsgruppen umfassen: D0 = Keine Düngung, D50 = 50% der normalen Düngermenge, D100 = 100% der normalen Düngermenge, D50+C = 50% der normalen Düngermenge gecoatet mit der Biokohle Basismischung, D50+C+MA5 = 50% der normalen Düngermenge gecoatet mit einer Mischung aus 95% Biokohle und 5% Mikroalgenmix, D50+C+MA50 = 50% der normalen Düngermenge gecoatet mit einer Mischung aus 50% Biokohle und 50% Mikroalgenmix. Unter „normaler“ Düngermenge versteht sich der Referenzwert von 30 kg/Ha N und 20 kg/Ha P.

AP 8 – Wachstumsversuche mit optimiertem Coating

8.1. Raps in Töpfen – Coating mit integriertem Mikroalgenmix

Die unterschiedlichen Anteile an Mikroalgenmix im Samen-Coating hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Frisch- (ANOVA: df=4, F=1.131, p=0,355; Abb. 7A) und Trockengewichte (ANOVA: df=4, F=1,879, p=0,132; Abb. 7B) von Raps in Töpfen. Aufgrund des nicht-nachweisbaren Effekts des Mikroalgenmix weder auf die Keimung (Kap. 7.1.) noch auf das Wachstum wird davon ausgegangen, dass der Mikroalgenmix zum Zeitpunkt der Keimung und der ersten Wachstumsphase weder einen förderlichen noch einen hemmenden Einfluss auf Rapspflanzen hat. Für den darauffolgenden Feldversuch (Kap. 8.2.) entschied man sich für eine Mischung aus 75% Biokohle und 25% Algenmix.

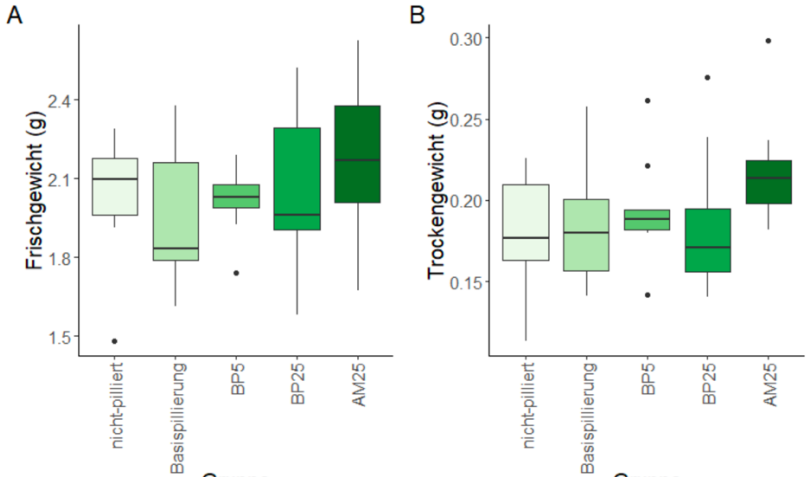


Abbildung 7: Wachstumsraten von Raps in Töpfen. A: Frischgewicht von der oberirdisch abgetrennten Rapspflanze nach 28 Tagen; B; Trockengewicht nach Trocknung bei 105 C° für 24h. Die Versuchsgruppen umfassten: nicht pilliert = kein Coating um den Samen, Basispillieruung = nur Biokohlecoating um das Saatgut ohne Zusatz von Algenmix; BP5 = Samen gecoatet mit einer Mischung aus 95% Biokohle und 5% Mikroalgenmix; BP25 = Samen gecoatet mit einer Mischung aus 75% Biokohle und 25% Mikroalgenmix; AM25 = Samen gecoatet nur mit Mikroalgenmix. Die Menge der Mikroalgen entspricht der Menge, die in BP25 verwendet wurde.

8.2. Feldversuch mit Raps – Vergleich von "Basiscoating" zu "Basiscoating mit integriertem Algenmix"

Basierend auf den Keim- und Wachstumsversuchen von Frau Deborah Weller (s. Kapitel 7.1. und 8.1) wurde für den zweiten Feldversuch ein Kohlecoating hergestellt, das zu 75% aus Biokohle und zu 25% aus dem Algenmix bestand, der im Bioreaktor an der Kläranlage wächst (Projekt FEMAK). Auf vier Streifen wurden am 2. September 2024 Rapssamen mit einem Basiscoating ausgebracht, auf weiteren vier erfolgte die Aussaat von Raps, der mit einem Kohlecoating mit dem integriertem Algenmix gecoatet war. Außerdem wurde im Umfeld der Versuchsstreifen Raps ohne jegliches Coating ausgebracht. Zusätzlich zu den Versuchsstreifen wurde ein Teststreifen mit einem Coating, das zu 50% Biokohle und 50% Algenmix bestand, ausgebracht. Dieser Teststreifen diente lediglich als weiterer Vergleich, der jedoch statistisch nicht auswertbar ist. Auch diente er dazu, toxikologische Auswirkungen zu untersuchen, die nach Abschluss des Projekts durchgeführt werden. Der Versuch wurde auf einer Testfläche in Hohenlockstedt mit konventionellen landwirtschaftlichen Maschinen durchgeführt. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede weder in der Keimrate noch in der Entwicklung der Keimlinge (BBCH Stadium) (Bonitur vom 22. September 2024, Abb. 8). Man kann also auch hier die Ergebnisse aus den Versuchen in der Klimakammer bestätigen und davon ausgehen, dass für die Keimung und die erste Entwicklungsphase der Algenmix keine negativen Effekte auf die Rapspflanzen hat.

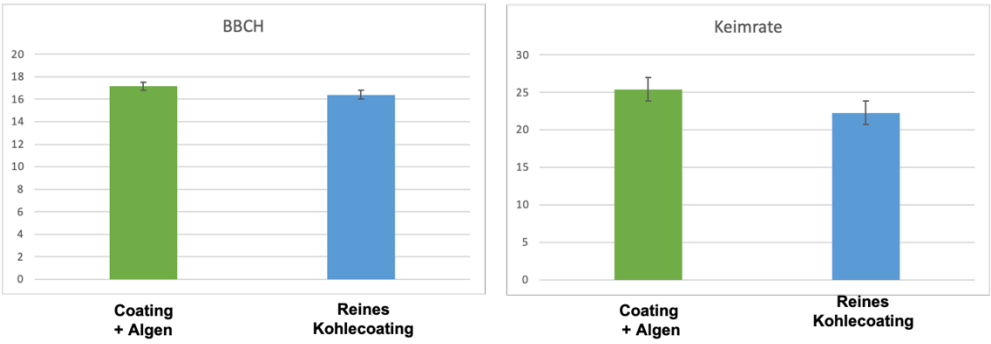


Abbildung 8: Keimstadium (BBCH) und Keimrate von Raps mit einem mit Mikroalgen versetzten Coating (grün) und einem reinen Kohlecoating (blau)

Auch die weitere Entwicklung bestätigte die Erfahrungen des Vorjahres: Die Blattmasse war bei den Pflanzen mit Coating generell höher als bei denen ohne Coating (Bonitur vom 20.11.2024; Abb. 9). Die Ergebnisse waren zwar nicht signifikant (T-Test, $p>0,05$), jedoch ist ein deutlicher Trend erkennbar: die niedrigste Blattmasse wurde bei den Pflanzen ohne jegliches Coating gemessen. Interessanterweise ist mit dem Einsatz des Algenmix auch die Blattmasse gestiegen. Obwohl die 50:50 Mischung nicht statistisch zu berechnen ist, wird deutlich, dass die Beigabe Algenmix einen positiven Einfluss auf die Entwicklung der Blattmasse hat.

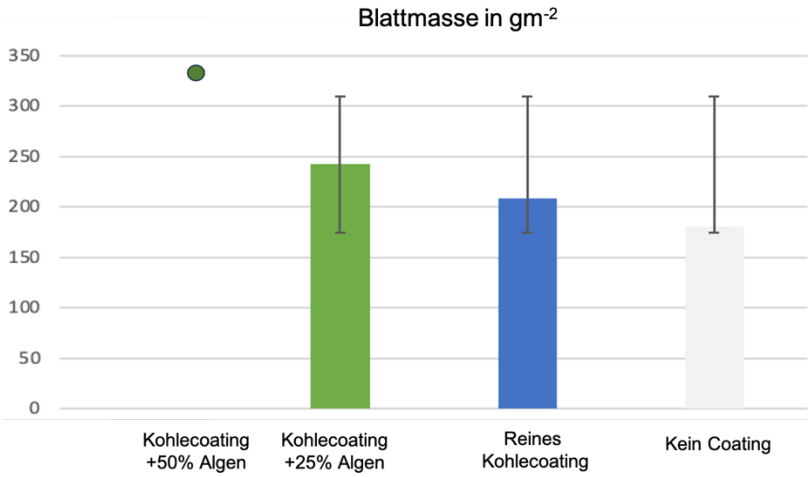


Abbildung 9: Blattmasse in g pro m² von Raps mit (blau) und ohne (hellgrau) Basiscoating, sowie mit 25% Algenmix (hellgrün) und 50% Algenmix (dunkelgrüner Punkt, nur ein Datenpunkt)

Leider wird es nicht möglich sein, Aussagen über den Ertrag machen zu können, da aufgrund der schlechten klimatischen Bedingungen der Landwirt entschieden hat, Anfang Mai 2025 den Raps umzubrechen und stattdessen Mais anzupflanzen. Kurz bevor dies geschah, wurde noch einmal bonitiert und auch zu diesem Zeitpunkt (Ende April) konnte zwischen den Pflanzen mit reinem Kohlecoating und denjenigen mit Algenmix keine signifikanten Unterschiede im BBCH-Entwicklungsstadium festgestellt werden. Obwohl in diesem Versuch nicht bis zur tatsächlichen Ernte Daten erhoben werden konnten, zeigen die bis dahin gesammelten Ergebnisse erneut, dass weder durch das Kohlecoating noch durch den Einsatz des Algenmixes Ertragseinbußen zu erwarten sind. Toxikologische Untersuchungen, die erst nach Projektende unternommen werden,

werden zusätzliche Klarheit schaffen, inwiefern potentielle Schadstoffe durch diese Art von Kreislaufwirtschaft ein Problem darstellen könnten.

8.3. Feldversuch mit Mais – Basiscoating (ohne Mikroalgen)

Am 21. Mai 2024 wurde auf einem Testacker in Hohenlockstedt der erste Feldversuch mit Mais ausgesät. Die Versuchsgruppen umfassten Mais, der mit Blockkohle ummantelt war und ungecoateten Mais als Vergleichs- resp. Kontrollgruppe. Bei der Bonitur im August zeigten sich keine signifikanten Unterschiede weder in der Höhe der Pflanzen noch in der Anzahl Kolben (Abb. 10).

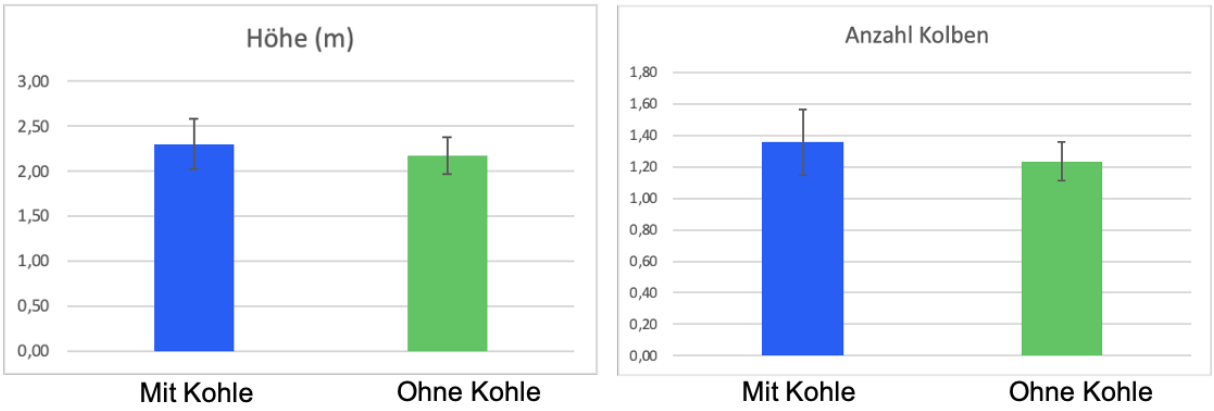


Abbildung 10: Höhe der Pflanzen und Anzahl Kolben beim Mais auf dem Feld mit und ohne Kohlecoating

Entsprechend wurden auch bei der Ernte im September keine Unterschiede weder in der Anzahl Kolben noch in deren Gewicht festgestellt.

8.4. Wachstumsversuche mit Raps in Töpfen – Gecoatete Düngerkügelchen mit integriertem Algenmix

Bei diesem Versuch ging es darum herauszufinden, ob durch die Zugabe des Mikroalgenmix die Nährstoffaufnahme der Pflanzen verbessert werden und dadurch die Menge an N und P Dünger vermindert werden kann, ohne dass dabei vermindertes Pflanzenwachstum auftritt. Ab dem 4-Blatt Stadium (entspricht dem BBCH Stadium 14) ist die Pflanze ausschließlich auf externe Nährstoffe angewiesen. In den Topfversuchen war dieses Stadium nach sechs Wochen erreicht.
Nach sechs Wochen zeigten sich signifikante Unterschiede in der Frischmasse der Pflanzen (Kruskal-Wallis-Test: df= 5; p= 0,0003667; Abb. 11A), die allerdings in der Trockenmasse nicht mehr nachzuweisen waren (Abb. 11B). Die Unterschiede erfolgten vor allem wegen der Versuchsgruppe, die gar keinen Dünger erhielt und darum klar die schlechteste Wachstumsrate aufwies. Auch zwischen der Versuchsgruppe, die die normale Menge an Dünger erhielt (D100) und derjenigen, die die Hälfte des Düngers ummantelt mit dem Basiscoating erhielt, (D50+C) bestand ein signifikanter Unterschied. Dieser Unterschied war nicht mehr feststellbar, sobald das Coating auch den Algenmix enthielt (D50+C+5MA; D50+c+50MA). Dies könnte darauf hindeuten, dass das Vorhandensein des Algenmixes den Mangel an Dünger abfedern kann. Allerdings bestand auch zwischen der Gruppe mit der normalen Düngermenge (D100) und der Gruppe mit der halben Düngermenge ohne Coating (D50) kein signifikanter Unterschied. Dies könnte darauf hindeuten, dass das Kohlecoating einen anfangs „bremsenden“ Effekt hat und die Nährstoffe vielleicht nur verlangsamt in die Erde gelangen. Das Vorhandensein des Mikroalgenmix könnte durch wachstumsfördernde Effekte diesen hemmenden Effekt wieder mildern. So könnte

insgesamt eine gute Mischung entstehen, die eine Verminderung der Düngermenge erlaubt und gleichzeitig die Bodenqualität durch die Biokohle verbessert.

Aus den Ergebnissen der Trockenmassen lässt sich weder ein positiver noch ein negativer Effekt der Biokohle und der Mikroalgen ableiten. Es gab keine signifikanten Unterschiede in den Trockenmassen der unterschiedlichen Versuchsgruppen (ANOVA, F (5,24) = 2,228; p=0,0844; Abb. 11B). Allerdings sind diese Resultate auch nur innerhalb der beschränkten und relativ künstlichen Bedingungen in der Klimakammer und nur auf die ersten sechs Wochen Pflanzenwachstum zu beziehen. Die Aussagekraft ist limitiert und kann höchstens einen ersten Eindruck vermitteln. Positiv zu vermerken ist dabei, dass der Einsatz des Mikroalgenmix – wie auch schon bei vorangegangenen Versuchen festgestellt – keinen negativen Einfluss auf das Wachstum vom Raps hat.

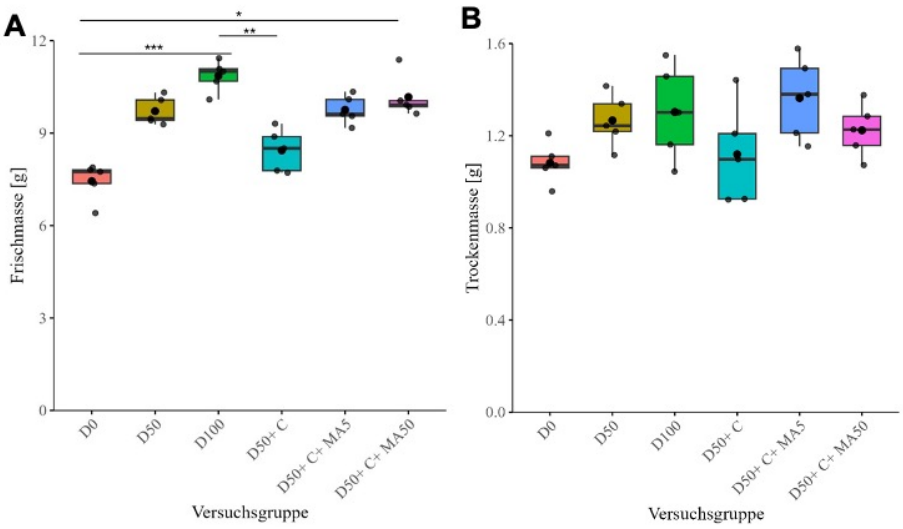


Abbildung 11: Frischmasse (A) und Trockenmasse (B) der oberirdischen Pflanzenteile pro Topf nach 6 Wochen (n=5). Gezeigt werden die ermittelten signifikanten Unterschiede nach einem Dunn- Test mit Bonferroni-Korrektur p<0,05 (*), p<0,01 (**) und p<0,001 (***).

II. 2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Position		Gesamtvorkalkulation (€)	Gesamtnachkalkulation €)
0813	Material	0	0
0823	FE-Fremdleistungen	0	0
0837	Personalkosten	313.214,90	308.321,83
0838	Reisekosten	0	0
0850	Sonstige Vorhabenkosten	0	0
0855	**Summe**	**313.214,90**	308.321,83

II. 3 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Alle geleisteten Arbeiten und die damit verbundene Förderung waren notwendig und angemessen. Die Schierbecker Handels GmbH & Co KG ist ein innovatives Unternehmen an der Schnittstelle zwischen Landwirtschaft, Wirtschaft und Wissenschaft. Als solches bietet es die ideale Umgebung, sowohl von den Menschen als auch vom vorhandenen Wissen und der Infrastruktur, um angewandte Forschungstätigkeiten in innovative Produkte, die auch den Bedarf am Markt widerspiegeln, fließen zu lassen. Im Falle des vorliegenden Projektes war die Förderung auf jeden Fall angemessen, da diese ausschließlich in Personal floss. Da es sich um einen sehr innovativen Entwicklungsschritt handelt, konnte das KMU das Risiko eines eventuellen Scheiterns nicht alleine tragen und die zusätzliche Manpower nicht alleine finanzieren. Deshalb war die damit verbundene Förderung notwendig.

II. 4 Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das 2023 gegründete Start-up Seedrise GmbH (www.seedrise.ag, vormals Farmula GmbH, ein Spin-Off der Schierbecker Handels GmbH & Co. KG) mit Sitz in Berlin, entwickelt das bereits europaweit patentierte Verfahren des Saatgutcoatings auf Basis von Pflanzenkohle. Im Projekt AlgenSaat wurde diese Technologie als Basis genutzt, Mikroalgen als potentielle Pflanzenhilfsmittel in Kombination mit Pflanzenkohle umfangreich zu testen. Die Ergebnisse haben dazu geführt, die Kombination der Mikroalgen mit Pflanzenkohle ebenfalls patentieren zu lassen. Das Patent ist bereits in Deutschland publiziert und wartet derzeit auf die europaweite Eintragung. Die Schierbecker Handels GmbH & Co. KG verspricht sich von den Projekterkenntnissen, diese Technologie weiterzuentwickeln. Ziel ist es, die Technologie im Rahmen der Seedrise GmbH dem internationalen Markt für die regenerative Landwirtschaft zur Verfügung zu stellen. Wir gehen davon aus, dass ein überproportional großes Marktpotenzial besteht. Bereits heute besteht enormes Interesse der Industrie an dieser neuartigen Technologie. Wir glauben, einen echten Game-Changer für die Landwirtschaft in der Entwicklung zu haben. Mit der Kombination der Pflanzenkohle mit Mikroalgen aus Reinigungsprozessen werden darüber hinaus noch weitere

Dienstleistungen betriebswirtschaftlich positiv bedient. Da es sich insgesamt um ein komlett neues und innovatives Konzept handelt, sind weitere, aufbauende F&E Phasen notwendig. Es ist unser festes Vorhaben, weiter in die Entwicklung von AlgenSaat zu investieren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Algenmix neben weiteren Makronährstoffen auch Mikronährstoffe und Biostimulanzien enthalten könnte, die eine wesentliche Rolle für das Pflanzenwachstum spielen. Die erhöhte Blattmasse in den Versuchsgruppen deutet darauf hin, dass pflanzenfördernde Stoffe vorhanden sein könnten. Besonders in Anwendungen wie Samenpillierungen könnten diese Wirkstoffe positive Effekte auf Keimung und Wachstum haben. Zukünftige Untersuchungen sollten den Algenmix daher auf weitere Nährstoffe und bioaktive Substanzen hin analysieren, um sein gesamtes Potenzial als nachhaltigen Dünger und Biostimulans zu erfassen und zu bewerten.

II. 5 Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Nicht bekannt

II. 6 Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF

Keine