

SACHBERICHT ZUM VERWENDUNGSNACHWEIS

Projekt

IBÖ-08: AlgaTex - „Grünalgen als Faserstoff der Zukunft?“ – Sondierungsphase für den Einsatz fädiger Süßwasseralgen als potenzieller Rohstoff für die Textilindustrie

Förderkennzeichen: 031B1196

Förderzeitraum: 01.10.2021 – 30.09.2022

Hochschule Niederrhein, Forschungsinstitut für Textil und Bekleidung

Prof. Dipl.-Des. Ellen Bendt

Dipl.-Ing. Karin Ratovo, M. Sc.

Leon Blanckart, M. Sc.



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B1196 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Teil I: Kurzbericht

Projekt

IBÖ-08: AlgaTex - „Grünalgen als Faserstoff der Zukunft?“ – Sondierungsphase für den Einsatz fädiger Süßwasseralgen als potenzieller Rohstoff für die Textilindustrie

Förderkennzeichen: 031B1196

Förderzeitraum: 01.10.2021 – 30.09.2022

Hochschule Niederrhein, Forschungsinstitut für Textil und Bekleidung

Prof. Dipl.-Des. Ellen Bendt

Dipl.-Ing. Karin Ratovo, M. Sc.

Leon Blanckart, M. Sc.

Aufgabenstellung und Forschungsstand

Das Projekt *AlgaTex* hat sich zum Ziel gesetzt, fädige Grünalgen als innovativen Faserrohstoff für die Textilindustrie und als Alternative zu existierenden Landfaserpflanzen und chemischen Faserstoffen einzusetzen. Dazu wurde ermittelt, wie sich ausgewählte fädige Algen im nötigen wirtschaftlichen Umfang kultivieren und für eine textile Nutzung aufbereiten lassen. Es wurde geprüft, ob sich die Algenbiomasse in verschiedene textile Strukturen und Flächenkonstruktionen überführen lässt und für welche Anwendungen sie geeignet ist (z. B. Bekleidung, Filtermedien, technische Anwendungen). Folgende Arbeitsziele wurden unter wissenschaftlichen und technischen Aspekten angestrebt:

1. Identifikation geeigneter Algen (Typ, Faserstruktur und -länge, Verarbeitbarkeit) in Kooperation mit einem Algenforschungsinstitut (biologische Expertise).
2. Prüfung der Realisierbarkeit der Kultivierung (Kultivierungsbedingungen, Skalierbarkeit auf wirtschaftliche Mengen etc.) in Kooperation mit einem Algenforschungsinstitut und einem Unternehmen mit Expertise im Bereich Algenkultivierung.
3. Überprüfung der Nutzung von Aquaponik (Doppelnutzung des Wassers) als mögliches nachhaltiges Kultivierungskonzept (> Fischabwässer als mögliche Nahrungsbasis der Algen bei gleichzeitiger Reinigung des Wassers) in Kooperation mit Unternehmen im Bereich Fisch-/Algenkultivierung
4. Verfahrenstests für die Fasergewinnung und -aufbereitung für textile Anwendungen.
5. Tests für die Herstellung von Vliesflächen und spinntechnische Versuche zur Überprüfung möglicher Garnentwicklungen, auch mit Beimischung von z. B. cellulosischen Regeneratfasern oder anderen Naturfasern.
6. Stricktechnische Versuche anhand der ersten Testgarne zur Beurteilung des Einsatzes für textile Flächenkonstruktionen.
7. Umfangreiche Analytik der Faser- und Produkt-Eigenschaften hinsichtlich potenzieller Produktentwicklungen und Anforderungsprofile.
8. Bewertung von wirtschaftlichen Verwertungsoptionen und -strategien.

Die Nutzung von Algen als Faserrohstoff findet auf kommerzieller Ebene bislang nahezu ausschließlich in chemischen Regeneratfasern Anwendung. Unter dem Markennamen SeaCell™ ist eine Algen-Cellulose-Regeneratfaser erhältlich, welche niedrig dosierte prozentuale Anteile einer Braunalgenart enthält und mittels Lyocell-Verfahren oder der Modal-Technologie hergestellt wird [1]. Der Einsatz fädiger Grünalgen hat sich in der Textilindustrie bislang noch nicht etabliert. Das BMBF-Forschungsprojekt *AlgaeTex* (Innovationsraum BioTexFuture, Laufzeit 01.11.2020 - 31.10.2023) ist das derzeit einzige Vorhaben in Deutschland, das auf eine direkte textile Nutzung von Algen abzielt. Hier werden jedoch keine fädigen Algen, sondern einzellige Mikroalgen genutzt, um ein algenbasiertes Öl zu erstellen, aus dem wiederum ein Biopolymer hergestellt wird, aus welchem mittels Lösemittelspinnverfahren eine Faser erzeugt wird [2]. Die Verarbeitung fädiger Grünalgen als textiler Faserrohstoff für eine industrielle Nutzung, wurde im Jahr 2020 durch Blanckart beschrieben und für potenziell möglich befunden [3].

Ablauf des Vorhabens

Der Ablauf des Vorhabens erfolgte in der Reihenfolge der oben gelisteten Arbeitsziele. Die benötigte biologische Expertise zur Identifikation geeigneter fädiger Algen und deren Kultivierbarkeit sollte durch die Zusammenarbeit mit einem Algenforschungsinstitut und einem Fischzüchter/Algenkultivierer erfolgen, die jeweils in einem Unterauftrag beschäftigt wurden. Im Zeitraum der Sondierungsphase wurden insgesamt fünf Algengruppen mit über 60 Algentypen überprüft. Aufgrund ihrer Fädigkeit wurde der Fokus auf Süßwasser-Grünalgen aus den Abteilungen Chlorophyta und Streptophyta gelegt. Nach der Kultivierung verschiedener Algen im Labormaßstab

sollte der Skalierung geeigneter Proben in Richtung effiziente Produktionsmengen genauer nachgegangen werden. Dazu wurde mit einem Unternehmen im Unterauftrag zusammengearbeitet, das über großvolumige Algenkulturgefäße verfügt. Hier wurden unterschiedliche Systeme und Nährmedien zur Biomassegenerierung getestet. Eine besondere Rolle hat der Fasergewinnungsprozess (die Ernte) eingenommen, dessen Art und Weise Einfluss auf die spätere textile Verarbeitung hat. Auch sollte ermittelt werden, ob die Alge möglicherweise im nassen Zustand bis zur textilen Weiterverarbeitung verpackt und transportiert werden kann. Vom nassen Zustand wurde die Biomasse zunächst Entwässerungs- und Trockenprozessen unterzogen und im Anschluss eine textile Weiterverarbeitung (Vlies- und Garnherstellung gefolgt von Strickkonstruktionen) durchgeführt. Die Zwischenprodukte der einzelnen Prozessschritte sowie der entwickelten Demonstratoren wurden mittels textiler Prüfmethoden untersucht. Parallel erfolgte die Beurteilung wirtschaftlicher Erfolgsaussichten sowie die Eingrenzung des entsprechenden Absatzmarkts für fädige Algenfasern. Die Sondierungsphase wurde zudem genutzt, um Industriepartner für eine anschließende technische Machbarkeitsphase zu akquirieren.

Wesentliche Ergebnisse

Die Ergebnisse der Sondierungsphase des *AlgaTex*-Projekts zeigen, dass sich fädige Süßwasseralgen unter optimalen Bedingungen in wirtschaftlichen Umfang kultivieren lassen und sich der gewonnene Rohstoff in verschiedene textile Produkte überführen lässt. Konkret ist es gelungen, fädige Grünalgenbiomasse in semi-geschlossenen Systemen erfolgreich zu kultivieren und mit konventionellen Textilmaschinen aufzubereiten. Vliesstoffe konnten aus 100 % Algenfasern erzeugt werden. In Mischungen mit anderen Naturfasern konnte aus ausgewählten Grünalgen Faserbänder hergestellt werden, welche sich auf Rotorspinnmaschinen zu Garnen verarbeiten lassen. Erste textile Strickflächen wurden erzeugt. Durch textiltechnologische Prüfungen wurde nachgewiesen, dass die erzeugten Demonstratoren als Einsatz für PSA-Textilien und technische Anwendungen denkbar sind. Das Projektvorhaben soll in einer Machbarkeitsphase fortgeführt werden. Darüber hinaus ist die Gründung eines Start-ups mit Schwerpunkt auf der Algenutzung für verschiedene textile Anwendungen geplant.

- [1] Smartfiber AG (Hg.) (2023): Seacell. Online verfügbar unter <https://www.smartfiber.de/>, zuletzt geprüft am 19.03.2023
- [2] RWTH Aachen University (Hg.) (2021): AlgaeTex. Online verfügbar unter https://www.ita.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaayskygv, zuletzt geprüft am 19.03.2023.
- [3] Blanckart, L. (2020). Grünalgen als Faserstoff der Zukunft?: Eine Analyse fädiger Süßwasseralgen als potenzieller Rohstoff für die Textilindustrie. Hochschule Niederrhein. Unveröffentlicht.

SACHBERICHT ZUM VERWENDUNGSNACHWEIS

Projekt

IBÖ-08: AlgaTex - „Grünalgen als Faserstoff der Zukunft?“ – Sondierungsphase für den Einsatz fädiger Süßwasseralgen als potenzieller Rohstoff für die Textilindustrie

Förderkennzeichen: 031B1196

Förderzeitraum: 01.10.2021 – 30.09.2022

Hochschule Niederrhein, Forschungsinstitut für Textil und Bekleidung

Prof. Dipl.-Des. Ellen Bendt

Dipl.-Ing. Karin Ratovo, M. Sc.

Leon Blanckart, M. Sc.



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B1196 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Teil II: Eingehende Darstellung

Projekt

IBÖ-08: AlgaTex - „Grünalgen als Faserstoff der Zukunft?“ – Sondierungsphase für den Einsatz fädiger Süßwasseralgen als potenzieller Rohstoff für die Textilindustrie

Förderkennzeichen: 031B1196

Förderzeitraum: 01.10.2021 – 30.09.2022

Hochschule Niederrhein, Forschungsinstitut für Textil und Bekleidung

Prof. Dipl.-Des. Ellen Bendt

Dip. Ing. Karin Ratovo, M. Sc.

Leon Blanckart, M. Sc.



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B1196 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Projektübersicht

Das Projekt *AlgaTex* hat sich zum Ziel gesetzt, fädige Grünalgen als innovativen Faserrohstoff für die Textilindustrie und als Alternative zu existierenden Landfaserpflanzen und chemischen Faserstoffen einzusetzen. Dazu wurde ermittelt, wie sich ausgewählte fädige Algen im nötigen wirtschaftlichen Umfang kultivieren und für eine textile Nutzung aufbereiten lassen. Es wurde geprüft, ob sich die Algenbiomasse in verschiedene textile Strukturen und Flächenkonstruktionen überführen lässt und für welche Anwendungen sie geeignet ist (z. B. Bekleidung, Filtermedien, technische Anwendungen). Folgende Arbeitsziele wurden unter wissenschaftlichen und technischen Aspekten angestrebt:

1. Identifikation geeigneter Algen (Typ, Faserstruktur und -länge, Verarbeitbarkeit) in Kooperation mit einem Algenforschungsinstitut.
2. Prüfung der Realisierbarkeit der Kultivierung (Kultivierungsbedingungen, Skalierbarkeit auf wirtschaftliche Mengen etc.) in Kooperation mit einem Algenforschungsinstitut und einem Unternehmen mit Expertise im Bereich Algenkultivierung.
3. Überprüfung von Aquaponik (Doppelnutzung des Wassers) als mögliches nachhaltiges Kultivierungskonzept (> Fischabwässer als mögliche Nahrungsbasis der Algen, bei gleichzeitiger Reinigung des Wassers) in Kooperation mit Unternehmen im Bereich Fisch-/Algenkultivierung.
4. Verfahrenstests für die Fasergewinnung und -aufbereitung für textile Anwendungen.
5. Tests für die Herstellung von Vliesflächen – Spinntechnische Versuche zur Überprüfung möglicher Garnentwicklungen auch mit Beimischung von z. B. cellulosischen Regeneratfasern oder anderen Naturfasern.
6. Stricktechnische Versuche anhand der ersten Testgarne zur Beurteilung des Einsatzes für textile Flächenkonstruktionen.
7. Umfangreiche Analytik der Faser- und Produkteigenschaften hinsichtlich potenzieller Produktentwicklungen und Anforderungsprofile.
8. Bewertung von Verwertungsoptionen und -strategien.

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Beteiligt am Vorhaben waren neben dem Antragsteller (das FTB) ein Algenforschungsinstitut und ein Unternehmen mit Expertise im Bereich Algenkultivierung/Produktion, die im Unterauftrag mitwirkten. Die Arbeitsteilung war durch die unterschiedlichen Fachrichtungen und Expertisen (Biologie und Textiltechnologie) der einzelnen Beteiligten gegeben. Während das Algenforschungsinstitut und der Algenproduzent die Etablierung von Kulturbedingungen sowie die Skalierung der Algenkultur zur Gewinnung von Startmaterial durchführte, übernahm das FTB die Aufbereitung und Verarbeitung der Algenfasern für die textile Produktion.

Die Arbeiten konnten in der geplanten Zeit bearbeitet werden. Auch die Kosten für Personal, Gegenstände und Verbrauchsmaterial liegen in Höhe der ursprünglichen Kostenplanung. Ausnahme bilden die Reisekosten, die pandemiebedingt geringer in Anspruch genommen wurden.

Der ursprüngliche Kostenplan sah Reisemittel für Kontakt und Informationsreisen zu Konferenzen, Messen, zu den Unterauftragnehmern sowie zu weiteren potenziellen Partnern für Anschlussprojekte vor. Der Verlauf der Corona-Pandemie ließ Besuche einiger Konferenzen und Messen vor Ort nicht zu. Fachkonferenzen fanden 2021 häufig virtuell statt. An der *AlgaEurope*-Fachkonferenz und am 3N Kongress *Ökoinnovation mit Biomasse* wurde daher online teilgenommen. Textile Fachmessen wie die *Techtextil* 2022 wurden jedoch in Präsenz besucht. Ein interaktiver Austausch mit den Unterauftragnehmern wurde durch regelmäßige Treffen (online und in Präsenz)

gewährleistet, um gemeinsame Analysen durchzuführen und die direkte Zusammenarbeit von textiler und biologischer Expertise zu gewährleisten.

Im ursprünglichen Antrag waren Verbrauchsmittel und Gegenstände für die Forschungsaufgaben am FTB vorgesehen. Hier wurden zwei 160 L Aquarien angeschafft, um Laborforschungen vor Ort durchführen zu können und wichtige Erkenntnisse über die Generierung der Biomasse zu gewinnen. Zusatzmaterialien zur Algenkultivierung wie Beleuchtungseinheiten, Filter und Zeitschaltuhren mussten im Verlauf des Projektes ergänzend beschafft werden. Auf eine CO₂-Anlage konnte verzichtet werden, dafür wurde ein Digitalmikroskop-Set angeschafft, das zur analytischen Untersuchung frischer Algenbiomasse eingesetzt wurde. Für die Beschaffung wurden Geldmittel umgewidmet.

Arbeits- und Zeitplan sowie Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die Sondierungsphase des *Algatex*-Projektes umfasste acht Arbeitspakete, welche im Folgenden beschrieben werden.

AP 1 – Drittauftrag erteilen / Marktanalyse / Identifizierung geeigneter Algen und mikroskopische Prüfungen der Algen

Im Rahmen des AP 1 wurde direkt zu Beginn der Sondierungsphase ein geeignetes Algenforschungsinstitut und ein Algenproduzent beauftragt, um die Kultivierung ausgesuchter fädiger Algen in geeigneter, wirtschaftlicher Menge zu sichern. Insgesamt wurden fünf Algengruppen mit über 60 Algentypen auf ihre textile Verwertbarkeit geprüft. Aufgrund ihrer Fädigkeit wurde der Fokus schließlich auf Süßwasser-Grünalgen aus den Abteilungen Chlorophyta und Streptophyta gelegt. Im Hinblick auf die zu erzeugenden textilen Strukturen (Garne, Vliese und Strickwaren) wurden sieben Grünalgen nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- (a) Fädigkeit/Form/Textur der Algenfaser
- (b) Faserlänge (> 1 cm) / Faserfeinheit
- (c) Zugfestigkeit/Stabilität der getrockneten Algenfaser und
- (d) besondere Fasermerkmale wie z. B. antimikrobielle Wirksamkeit

Die ausgewählten Organismen wurden zum Erfassen der individuellen Eigenschaften im Nass- und Trockenzustand mikroskopisch untersucht (150 Aufnahmen), vermessen und fotografisch dokumentiert. Drei geeignete fädige Algen wurden selektiert und identifiziert, wovon eine bereits als Reinkultur vorlag. Nach einer ersten Sondierung der Kultivierungsbedingungen wurden folgende Standardparameter festgelegt:

- + anfängliche Nutzung von Fischabwasser (Aquaponik-Verfahren), was schließlich durch eine Nutzung von WHM-Medium (Woods Hole Medium) (bestes Wachstum bei einem pH-Wert von 6) ersetzt wurde
- + Beleuchtung mit Licht : Dunkel = 18 h : 6 h; Lichtmenge 50-100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
- + Kultivierungstemperatur von 25 °C
- + Luftzufuhr und Belüftung / Durchmischung mittels Aquarien-Membran-Pumpe (AirLift)

Um ein optimales und kontinuierliches Wachstum zu erreichen und somit auch eine durchgehend gute Qualität in der Struktur und Vitalität der Fäden bis zur Ernte beizubehalten, sind bei der Sondierung die Wirkung von Stressfaktoren wie Temperatur, Licht, Nährstoffhaushalt, Dichte und Kontamination der Kultur untersucht worden. Die Algenkultivierung wurde dann im Labormaßstab bis auf 9 Liter Kulturvolumen in Kunststoffkanistern skaliert, in diesem Fall unter 24 h Licht (Weißlicht, Fluoreszenz- oder LED-Licht). Das Algenforschungsinstitut konnte von einigen Algen wiederholt reine Startkulturen zur Verfügung stellen und ermöglichte somit jederzeit eine Kultivierung in größerem Maßstab.

Das ursprünglich angestrebte Prinzip der Aquaponik durch kombinierte Algen- und Fischproduktion sollte beim Algenproduzenten erprobt werden, welcher über großvolumige Algenkulturgefäße auf dem Gelände einer Zander-Fischzucht verfügt. Durch eine vorübergehende Einstellung der Fischzucht mussten die Fischwasser (FW) als Nährmedium jedoch aus einem anderen regionalen Betrieb (afrikanische Raubwelszucht) für die Testung einbezogen werden. In enger Abstimmung mit dem Algenforschungsinstitut wurde die Algenkultivierung in einer Anlage mit offenen Strömungsflachbecken gestartet (2 x 40 L Nutzvolumen, 19-21 °C Wassertemperatur, verdünnte FW als Nährmedium, Licht : Dunkel = 14 h : 10 h, Lichtmenge 250-270 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Die Flachbecken ermöglichen aufgrund der größeren Wasseroberfläche einen hohen Gasaustausch sowie eine günstige Lichtausnutzung und damit eine optimale Photosyntheseleistung mit viel Wachstum. Der Nachteil bei der Nutzung der Flachbecken (offenes System) ist die festgestellte Kontamination durch unerwünschte Bakterien und konkurrierende Mikroalgen. Dies führte zu Verklumpungen der Algen und beeinträchtigte somit die textile Weiterverarbeitung. Folgende Lösungsansätze zur Minimierung der Kontaminanten wurden gefunden:

- + die Kultivierung erfolgte ab Mai 2022 in einem semi-geschlossenen System mittels Intermediate-Bulk-Container (IBC)

- + Animpfung mit einer definierten, sauberen und dauerhaft verfügbaren Startkultur (Reinkultur) und das Arbeiten im geschlossenen System

- + regelmäßige mikroskopische Untersuchung zur Kontrolle des Zustands der Alge während der Kultivierung, um den optimalen Erntezeitpunkt zu bestimmen

In den Flachbecken konnten Wachstumswerte von ca. 0,38 % d⁻¹ erreicht werden. Die in AP 3 für die textilen Versuche benötigte Biomasse konnte somit kultiviert und geerntet werden. Das unerwartete Ausfallen der Fischzucht erschwerte die Rahmenbedingung der Algenkultivierung. Die offenen Flachbecken mussten im Winter in der unbeheizten Halle auf 21 °C beheizt und 14 h lang beleuchtet werden. Eine Aussage zum Energiebedarf der zukünftiger Fasermassegewinnung war daher nicht möglich. Eine sachlich korrekte Wirtschaftlichkeitsberechnung muss auf der Grundlage einer saisonalen Kulturphase im Sommer und in Kombination mit einem Aquaponik-System erfolgen.

Aufgrund der regelmäßig auftretenden biologischen Kontamination der Algenbiomasse der gesamten Kultur, in offenen Flachbecken, die eine Nutzung als Textilrohstoff unmöglich macht, wurde ein Teil der Biomasse ab Mai 2022 in einen IBC überführt. Parallel dazu wurde die verbleibende Biomasse auf offene 40-Liter HDPE-Flachbecken aufgeteilt. Dem Medium wurde zweiwöchentlich ca. 50 Liter entnommen und mit Frischwasser ersetzt. WHM als Nährstoffquelle wurde im 2-wöchigen Rhythmus bereitgestellt. Eine Blasenbildung (Sauerstoffproduktion) der Biomasse und ein Aufschwimmen war weiterhin erkennbar.

Die Algenbiomasse in den Flachbecken wurde in zwei Phasen kultiviert. Die erste Kulturphase startete Anfang Februar 2022 und die zweite Kulturphase begann Ende Februar 2022. Die Kulturbedingungen waren: - Temperatur: 18 °C, - Medium: WHM-Standard, Lichtmenge: 130-150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, -

Belichtungsdauer: Langtagbedingungen (Licht : Dunkel = 14 h : 10 h), - Wasserwechsel alle 14 Tage (Batch). Aufgrund einer anhaltenden Abnahme der Kulturen bei Kultivierung im Innenbereich wurden die Kulturen im Mai 2022 in 120-Liter Außenbecken übertragen. Die rechteckigen Becken wurden vorab mit Ethanol und kochendem Wasser gereinigt und mit Gewächshausfolie verschlossen. Die Behälter wurden mit ca. 60-Liter Leitungswasser und WHM als Nährstoffquelle befüllt und sind unbelüftet. Als Schutz vor möglicher Lichthemmung wurde ein PE-Lochblech auf das Flachbecken aufgebracht. Gleichzeitig wurde dadurch ermöglicht, dass mögliche Regenansammlungen auf der Gewächshausfolie problemlos ablaufen konnten und eine Belichtung weiterhin gegeben war. Der Biomasseverlust setzte sich jedoch auch im Außenbereich fort. Im Juni 2022 musste die Kultur verworfen werden, da über mehrere Tage keine photosynthetische Aktivität (weder Auftrieb durch Blasenbildung) mehr sichtbar war und ein völliger Farbverlust erkennbar wurde. Für die Kultur von Anfang Februar 2022 wurde eine positive Biomasseveränderung ($0,38 \% d^{-1}$) festgestellt, jedoch begleitet durch einen Farbverlust. Die Kultivierung im Außenbereich wurde fortgesetzt. Neben fädigen Süßwasseralgenkulturen wurde ab Mai 2022 eine Brackwasseralge in Kultur genommen. Die Alge zeichnet sich durch ein schnelles Wachstum aus. Eine Prüfung auf textile Nutzbarkeit zeigte hohe Bruchigkeit bei vollständiger Trocknung, jedoch gute Fädigkeit. Die Alge wurde in einem 2000-L Rundbecken in Kultur genommen. Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Algen handelt es sich um eine marine Alge, die auch im Brackwasser vorkommt. Die in Kultur genommene Alge stammt aus einer Wildernte und war mit anderen Mikroalgen und Organismen verunreinigt.

Im Rahmen des AP 1 wurde die Entwicklung eines Aquaponikkonzeptes untersucht. Unterschiedliche FW aus einem regionalen Zuchtbetrieb wurden hierfür als mögliches Nährmedium an verschiedenen Algen getestet. Unter Verwendung der Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) Fluorometrie wurden sowohl die Vitalität als auch das Wachstum mehrerer Fadenalgen über einen Zeitraum von 8 Wochen untersucht. Es wurde festgestellt, (a) dass je nach kultivierter Alge bestimmte FW besser geeignet sind als andere, (b) dass unterschiedliche Entnahmestellen des FW (auch innerhalb eines Beckens) zu unterschiedlichen FW-Qualitäten führen können, (c) dass FW das Wachstum von Bakterien in Algenkulturen fördern kann. Weitere Experimente inkl. der Ermittlung der chemischen Zusammensetzung der FW sowie Kulturmedien über längere Kulturzeiträume werden für die Machbarkeitsphase angestrebt, um den Verbrauch essenzieller Nährstoffkomponenten zu ermitteln, die dann ggf. gesondert zugeführt werden können. Die Idee wird verfolgt, ob die FW als Konzentrat für ein kostengünstiges Grundmedium aufbereitet werden können (hier wurde Kontakt zu Unternehmen aufgenommen, die im Bereich von Aquaponiksystemen tätig sind, z. B. zur Aixponic GmbH).

In Mönchengladbach wurde ein kleines Algenlabor für Vorortversuche (Ernte-, Trocknungsversuche sowie Tests zur Vliesherstellung (AP 2+3)) mit Aquarien und einem Makroalgen-Reaktor eingerichtet.

Die Marktanalyse, die Recherche zu Neuheiten aus Wissenschaft und Technik und nach Patenten in der Algenzüchtung und -weiterverarbeitung fand kontinuierlich statt. Hier konnte festgestellt werden, dass die europäische Algenindustrie ein in den letzten Jahren stark aufstrebender Sektor ist, der einen relevanten Beitrag zur Erreichung der EU-Klimaziele leisten soll und von der EU stark gefördert wird, um die Ziele des europäischen Green Deals zu erreichen. Der Sektor Algenbiotechnologie befindet sich in Europa noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. Während die Produktion von Algenbiomasse in asiatischen Ländern bereits weit verbreitet ist, hat sich die Algenbranche in den westlichen Nationen noch nicht großflächig etabliert und der technische Stand der Algenindustrie ist weitgehend unbekannt. Der Sektor der größten Produzenten (Spanien, Frankreich und Portugal) meldet einen Gesamtumsatz von 10,7 Mio. Euro im Jahr 2020 [1]. Die Branche konzentriert sich bisher überwiegend auf die Produktion von Algen für die Lebens- und Futtermittelbranche sowie die Kosmetikindustrie [2]. Deutschland zeichnet sich europaweit durch

eine Spezialisierung auf die Kultivierung von Mikroalgen aus [1]. Im Rahmen der Marktrecherche konnten vier Unternehmen identifiziert werden, die sich mit Algen als Rohstoff für die Textilindustrie beschäftigen: Algalife-Algaeing (Patent CA3082734A1), Smartfiber AG (SeaCell™), AlgiKnit/Keel Labs™ (Kelsun™) und Eranova (AlgX) [3,4,5,6]. Die Unternehmen befassen sich ausschließlich mit Algen-Cellulose-Regeneratfasern und der Herstellung von Algenbiopolymeren. Es konnte kein Unternehmen ermittelt werden, das fädige Algen in reiner Form verarbeitet. Die Patentrecherche zeigt, dass Patente im Bereich der Cellulose-Regeneratfasern vorliegen, wie CA3082734A1 von Algalife-Algaeing oder WO2017186725A1 der Seacell™-Faser, nicht jedoch in der Kultivierung, der Verarbeitung oder textilen Verwertung fädiger Grünalgen. Das BMBF-Forschungsprojekt „AlgaeTex“ (Innovationsraum BioTexFuture, Laufzeit 01.11.2020 - 31.10.2023) ist das derzeit einzige Vorhaben in Deutschland, das auf eine direkte textile Nutzung von Algen abzielt. Hier werden jedoch keine fädigen Algen, sondern einzellige Mikroalgen genutzt, um ein algenbasiertes Biopolymer herzustellen, aus welchem mittels Lösemittelspinnverfahren ein Garn erzeugt wird [7]. Andere Forschungsprojekte befassen sich mit Mikroalgen oder der Nutzung von Energie- und Stoffströmen von Algenkultivierung und Biogasanlagen, wie z. B. das Projekt „BG2Algae“ der Fördermaßnahme KMU-innovativ BMBF und PT-J Arbeitseinheit UMW1 (Laufzeit 01.11.2019 - 31.10.2022).

AP 2 – Ernte-, Transport- und Trocknungsmöglichkeiten

Fädige Grünalgen wachsen als zusammenhängender Verbund vieler Einzelfilamente frei flottierend im Wasser. Das schnellste Ernteverfahren besteht in einem Abschöpfen der gesamten Biomasse mittels Filterband oder Netz. Die Algenbiomasse wird anschließend entwässert und getrocknet. Zum Entwässern wurde zum einen das passive Abtropfen, zum anderen das mechanische Entwässern erprobt. Das passive Abtropfen zeigte einen hohen Restwassergehalt von 90 % auf und erwies sich als ineffektiv bei größeren Algenmengen. Demgegenüber ermöglicht die mechanische Entwässerung eine Reduktion auf einen Restwassergehalt von 20 %. Unter den Trocknungsverfahren wurden thermische und nicht thermische Verfahren getestet. Dauert die Trocknung länger als 24 h, besteht zudem die Gefahr der Schimmelbildung. Ein falsches Ernte- und Trocknungsverfahren führte zu erheblichen Faserschädigungen und machte die Algenbiomasse für eine weitere Faserverarbeitung häufig unbrauchbar. Konkret äußerte sich dies in einem harten, spröden Warengriff, einer hohen Brüchigkeit der Fasern oder einer Verschleimung der Biomasse.

Zusätzlich zur Ernte von kontrolliert kultiviertem Material hat ein weiterer Ernteversuch zur Gewinnung von Algenfasern aus dem Freiland stattgefunden. Nach gelungener Ernte mehrerer Kilogramm frischer Biomasse aus einem Freilandteich, musste die Biomasse zunächst unter fließendem Wasser gespült werden, um grobe Verunreinigungen zu entfernen. Anschließend wurde das Fasermaterial getrocknet und nach Mönchengladbach versendet.

Um Biomasse über längere Distanzen zu verschicken, wurde der Transport im nassen Zustand erprobt. Nachteilig dabei ist, dass die Ware schwer ist, gekühlt werden muss und geeignete Behälter mit einem großen Volumen verwendet werden müssen. Das lebende Algenmaterial kann durch den Transport Schaden nehmen und muss sofort bei Ankunft in geeignete Kulturgefäße transferiert werden. Diese Option wurde deshalb hinsichtlich des Logistikaufwands als unrealistisch eingestuft. Der Transport im trockenen Zustand ist somit eindeutig die favorisierte Lösung: die Ware ist leicht und kann bei Ankunft gelagert werden, um im trockenen Zustand weiter verarbeitet zu werden.

AP 3 – Überführung in textile Produkte

Mit der getrockneten Biomasse der Freilandalge konnten erste textile Vliese (Nonwovens) aus 100 % Algenfaser hergestellt werden. Die Vliese weisen eine gleichmäßige Dicke auf, haben jedoch eine niedrige Festigkeit. Die Zugabe eines Bindemittels ergibt ein gleichmäßigeres und festeres Vlies.

Für eine erfolgreiche Weiterverarbeitung der Algenfasern zu einem Garn dürfen diese nicht zu trocken, spröde oder brüchig sein, da sie sonst beim Kardieren geschädigt werden. Mittels Sprühtechnik ist die Feuchtigkeit der trockenen Faser (a) durch Wasser oder (b) durch ein natürliches Hilfsmittel erhöht worden. Um der Brüchigkeit nach der Trocknung entgegenzuwirken, wurden zudem Versuche unternommen, getrocknete Algenbiomasse mit Weichgriffmitteln auszurüsten. Es wurde sich hierdurch erhofft, den Warengriff sowie die Stabilität der Fasern während der maschinellen Bearbeitung zu verbessern. Weichgriffprodukte unterschiedlicher ionischer Beschaffenheit wurden getestet.

Um die Stabilität der Fasern während der Verarbeitung zu erhöhen, wurden Mischungen mit anderen Fasern durchgeführt, damit die Algenfasern beim Krempel- und Spinnprozess mechanisch entlastet werden. Aus den Fasermischungen konnten erste textile Vorgarne hergestellt werden, die anschließend auf der Rotorspinnmaschine zu Garnen gesponnen wurden, um folgend Flächenkonstruktionen zu erstellen. Aus den Algenfasergarnen wurden Strickschläuche (Single Jersey) gestrickt.

AP 4 – Analytik der Zwischenprodukte der einzelnen Prozessschritte

Die gewonnenen Algenfasern sowie die entwickelten Demonstratoren wurden analytisch untersucht. Aufnahmen mittels Rasterelektronenmikroskop (REM) und Lichtmikroskop gaben Auskunft über die Faserbeschaffenheit. Die chemische Resistenz der Algenfasern wurde ebenso wie die Flammbeständigkeit und antimikrobiellen Eigenschaften analysiert. An den entwickelten Flächengebilden wurde die Scheuerbeständigkeit mittels Martindale und die Waschbeständigkeit getestet. Nach Abschluss der Analysen war ein Einsatz der Fasern für technischen Textilien oder persönliche Schutzausrüstung denkbar.

AP 5 – Suche nach geeigneten Partnern > Entwicklungsplan / das spätere Konsortium

Nach einem Beratungsgespräch mit Experten im Bereich Glasreaktoren für Mikroalgen wurde das geschlossene System von Bioreaktoren aufgrund der hohen Wasserströmung als ungeeignet für fädige Süßwasseralgen bewertet. Als Anlagenbauer wurden daher Unternehmen kontaktiert, welche sich mit der Entwicklung angepasster Kultivierungssysteme für fädige Grünalgen befassen werden. Um die gesamte Prozesskette von der Algenproduktion über die Verarbeitung bis hin zur Vermarktung in einer anschließenden Machbarkeitsphase zu realisieren, wurde folgendes Konsortium zusammengestellt:

Ein Algenforschungsinstitut liefert die Stamm- und Starterkulturen und optimiert fortlaufend die Kultivierungsbedingungen im Labormaßstab. Parallel etabliert es Kulturen weiterer optional nutzbarer Algenarten. Die benötigte Expertise zur industriellen Kultivierung der Süßwasseralgen bringen Experten im Bereich Anlagenbau und Verfahrenstechnik für fädige Algenbiomasse mit. In Zusammenarbeit mit einem Algenproduktionsunternehmen soll eine stabile Algenproduktion über den Projektzeitraum sichergestellt werden. Das Forschungsinstitut für Textil und Bekleidung der Hochschule Niederrhein (FTB) wird hinsichtlich der textilen Verarbeitung die benötigten

Fasereigenschaften der Algen mitbestimmen und Einfluss auf die Ausrichtung der Kultivierungsprozesse und insbesondere auf den Ernteprozess nehmen. Das FTB wird an der Entwicklung und Herstellung von Garnen und textilen Flächen forschen und diese hinsichtlich gezielter Anwendungsfelder testen. Dies dient unter anderem dem geplanten Start-up als Hilfestellung bei der Ausarbeitung des Produktportfolios. Im industriellen Maßstab sollen erste gestrickte Flächen entstehen. Hierfür wurden Unternehmen angefragt, die entsprechend auf die Entwicklung textiler Flächen bzw. Artikel in diesem Bereich spezialisiert sind.

AP 6 – Definition des Entwicklungsplans / Suche nach einem Wirtschaftsexperten

Ein Wirtschaftsexperte wurde gefunden, der nicht nur jahrelange Kenntnisse in der Aufbereitung von Textilfasern besitzt, sondern auch Erfahrung in der Gründung und Führung eines Textilunternehmens hat. Der Wirtschaftsexperte wird dem geplanten Start-up sein Netzwerk zur Verfügung stellen, den Zugang zu relevanten Industriekontakten in der Textilbranche ermöglichen und bei einer Ausgründung hinsichtlich Kosten und Investitionen beraten.

AP 7 – Dokumentation / Zwischenbericht / Evaluierung

Eine Dokumentation über die durchgeführten Arbeiten und die Ergebnisse fand kontinuierlich statt. und wurde für die Evaluierung, den Zwischenbericht sowie Abschlussbericht eingesetzt. Bei der Evaluierung vor dem Zuwendungsgeber im Juni 2022 in Berlin konnte sich das *Algatex*-Projekt erfolgreich durchsetzen, was zu einem positiven Zuwendungsbescheid für eine folgende Machbarkeitsphase führte.

AP 8: Koordination Konsortium / Konkretisierung der Machbarkeitsphase

Nach positiver Rückmeldung des Projektträgers konnte mit dem im AP 6 beschriebenen Konsortium die Vorbereitungen für eine folgende Machbarkeitsphase konkretisiert werden.

Voraussichtlicher Nutzen, sowie die Verwertung der Ergebnisse

Die ökologisch, ökonomisch und sozial faire Produktion von Produkten spielt bei der Kaufentscheidung jedes dritten Konsumenten bereits eine große Rolle, Tendenz steigend [8]. Gerade die Textilindustrie steht als umweltbelastender Industriezweig in der Kritik. Hier bieten Algen als lokale Ressource für die Bioökonomie mit regionaler Wertschöpfungskette und nachhaltigem Produktionsprozess eine hoch attraktive wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeit. Erste wirtschaftliche Erfolgsaussichten sind bei der Kultivierung der fädigen Algen in Deutschland bei den Produktionsunternehmen zu erwarten. Ein aquaponisches System würde verschiedene wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen. Insbesondere die Algenkultivierung profitiert in diesem System durch eine Kostenreduzierung aufgrund der Nutzung der FW als Dünge- und Nährmittel in der Produktion. Die Kultivierung der fädigen Algen benötigt ein neues semi-geschlossenes System, das Anlagenbauer entwickeln müssen, welches z. B. im Rahmen einer Fischzucht räumlich gut integrierbar wäre. Eine Anlage, welche die Kultivierung und Ernte der Alge perfektioniert, könnte patentiert werden. Als mittelfristige Erfolgsaussicht ist die Algenfaser als neuer textiler Rohstoff zu bewerten. Ein eindeutiger Vorteil der fädigen Grünalgen ist eine 100%ige Nutzung des Rohstoffs. Bei anderen Naturfasern (Landfasern) fallen bis zu 80 % der gesamten Biomasse als Abfall in Form von

Strauchresten, Zweigen und Blättern an, die auf dem Feld verbleiben. Im aufstrebenden Markt alternativer und nachhaltiger Naturfasern (z. B. Hanf- oder Ananasfasern) kann die Algenfaser eine essenzielle Rolle als ökologische Rohstoffressource spielen, deren Entwicklung und Herstellung vollständig regional realisierbar ist. Die Nutzung fädiger Algen könnte bestehende Akteure im Bereich Algenkultivierung motivieren, ihr Portfolio zu erweitern. Auch Landwirte oder Gärtnereien können auf die Produktion von fadenförmigen Süßwasseralgen umstellen und so einen neuen Wirtschaftszweig erschließen. Als erste Profiteure in der textilen Kette werden sowohl die Vlieshersteller als auch die Faserveredler und Spinnereien die Algenfasern einsetzen können. Vliese oder Garne können je nach Eigenschaften sowohl im technischen Bereich als auch in der Bekleidung Einsatz finden. Längerfristig gesehen sind Erfolgsaussichten in der Umsetzung von komplexen textilen Anwendungen zu sehen. Die aus und mit Algenfasern erzeugten Flächen (Vliese, Gewebe und Gestricke) sind dann als konfektioniertes, fertiges Produkt erhältlich. Im Bereich Konfektionierung von Vliesen sind je nach Eigenschaften des Vlieses z. B. technische Anwendungen als Isolierungsmaterial oder Anwendungen in der Luft- oder Flüssigfiltration denkbar. Insbesondere die kurzfristigen und mittelfristigen Erfolgsaussichten wurden noch in der Sondierungsphase geprüft. Hierzu zählt die Entwicklung einer stabilen Algenproduktionsinfrastruktur zur Kultivierung von Algen in wirtschaftlich relevanten Mengen (Sicherstellung einer kontinuierlichen Anzucht von Stammkulturen sowie deren Transport zur Kultivierungsanlage, Sicherstellung von Prozessabläufen zur Hochskalierung der Algenbiomasse in der Kultivierungsanlage in Kooperation mit Verfahrenstechnikern/Algenproduzenten und Anlagenbauern).

Weiterhin sollen Planungen getroffen werden, das Projekt auch nach Abschluss der Forschungen mittels eines Start-ups kommerziell erfolgreich weiterzuführen. Dies geschieht durch die Überführung der neuen Ressource in spezifisch angepasste textile Produkte. Hier zeichnet sich ein breites Produktportfolio ab, z. B. in Form von Stoffen und Produkten im Bereich funktionaler Wäsche mit Schutzfunktion (flammbeständig, chemisch resistent), denkbar z. B. für Feuerwehr, Polizei, Militär, Raumfahrt bis Rennsport. Auch im medizinischen Textilbereich ist der Einsatz fädiger Algenfasern denkbar, bspw. für chronisch Kranke, z. B. mit Psoriasis, aufgrund der antibakteriell und entzündungshemmenden Wirkung einiger Algenarten. Grundsätzlich können auch textile Vorprodukte (z. B. aufbereitete Faserspezialmischungen und Vorgarne mit verschiedenen hohen Algenanteilen) für unterschiedliche industrielle Anwendungen mit variablen Funktionsprofilen vom Automobilbereich (Isolation im Bereich der Elektromobilität) bis zur Filtertechnik ein breiter und sehr interessanter Markt für das geplante Start-up sein.

Basierend auf den Nutzungskonzepten wird ein Verwertungsplan für das zukünftige Start-up erstellt. Ziel ist ein Start-up mit Schwerpunkt auf der Algenfaseraufbereitung zur textilen Weiterverarbeitung sowie der Vertrieb von Flächenwaren für verschiedene textile Anwendungen. Der Wirtschaftsexperte betreut und unterstützt die Erstellung des Produktkonzepts, der Kostenkalkulation, des Wirtschaftsplans etc.

Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Projektzeitraum sind keine Erkenntnisse über den Fortschritt anderer Stellen bekannt geworden, die mittelbaren Einfluss auf die Durchführung der Sondierungsphase hatten oder den Stand von Wissenschaft und Technik dergestalt verändert hätten, dass Anpassungen am laufenden Vorhaben notwendig geworden wären. Während der Projektlaufzeit konnte ermittelt werden, dass der Algenanteil der SeaCell™-Faser der Smartfiber AG mittlerweile (Stand März 2023) bei 4 % (19 % Volumenanteil) liegt [4].

Geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 NABF

Angestrebt ist eine Veröffentlichung eines Berichtes über das *Algatex*-Forschungsvorhaben in der Fachzeitschrift *Melliand*. Zudem sind Fachvorträge über die Ergebnisse der Sondierungsphase auf verschiedenen Konferenzen im Jahr 2023 geplant.

Quellen:

- [1] Araújo, Rita; Vázquez Calderón, Fatima; Sánchez López, Javier; Azevedo, Isabel Costa; Bruhn, Annette; Fluch, Silvia et al. (2021): Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. In: *Front. Mar. Sci.* 7. DOI: 10.3389/fmars.2020.626389
- [2] European Commission (2021): The Eu Blue Economy Report 2021. Online verfügbar unter https://blueindicators.ec.europa.eu/sites/default/files/2021_06_BlueEconomy_Report2021.pdf.
- [3] Krebs Renana (2018): FIBERS COMPRISING CULTIVATED MICROALGAE, METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME, AND YARNS, FABRICS AND GARMENTS COMPRISING SUCH FIBER. Angemeldet durch ALGALIFE LTD am 15.11.2018. Veröffentlichungsnr: CA3082734A1. D01F1/10.
- [4] Smartfiber AG (Hg.) (2023): SeaCell™. Online verfügbar unter <https://www.smartfiber.de/>
- [5] PROCESSING OF ALGIKNIT FIBRES IN TEXTILE INDUSTRIES (2020). In: TEXTILE VALUE CHAIN (TVC). Online verfügbar unter <https://textilevaluechain.in/news-insights/processing-of-algiknit-fibres-in-textile-industries/>
- [6] eranovabioplastics (Hg.) (2023): AlgX. Online verfügbar unter <https://eranovabioplastics.com/our-products/?lang=en>
- [7] RWTH Aachen University (Hg.) (2021): AlgaeTex. Online verfügbar unter https://www.ita.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaayskygv
- [8] statista, Studie ethischer Konsum in Deutschland (9/2020)