

*Maritimes Kompetenzzentrum für
industriennahe Forschung in der
Meerestechnik*

ZOSTERATEC



SEEGRAS IN DER OSTSEE

Wie eine Aufforstung gelingen und
was eine Rollrasentechnik bewirken kann

Stiftung
**Klima- und
Umweltschutz MV**



© **Stiftung Klima- und Umweltschutz MV, Schwerin**

2024

HERAUSGEBER

Stiftung Klima- und Umweltschutz MV
Rechtsfähige Stiftung des bürgerlichen Rechts
Grunthalplatz 13
19053 Schwerin
Tel.: 0385 593 836 81
E-Mail: info@klimastiftung-mv.de
Internet: www.klimastiftung-mv.de

INHALTLICH VERANTWORTLICH

Christin Klinger, Geschäftsführerin

AUTOR:INNEN

Prof. Dr.-Ing. Mathias Paschen
M.Sc. Daniela Glück
Dipl.-Ing. Reinhard Helbig
Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Kreft

REDAKTION

Dr. Sebastian Kalden

GESTALTUNG

MADSACK Medienagentur GmbH & Co. KG

BILDNACHWEISE

Studioworkstock (S. 1, S.48: 45449885, Freepik.com), Andrea Gottowik (S. 4), Klimastiftung MV (S. 6, S. 12-13, S. 17, S. 29, S. 32, S. 34, S. 41), GRID-Arendal (S. 7, S. 9, S. 10-11), MariKom (S. 13, S. 16, S. 28, S. 31, S. 33, S. 35-37, S. 38, S. 40, S. 44), Npschorr (S. 18: 1652866, Pixabay.com), Dominikrh (S. 19: 8006539, Pixabay.com), Lecreusois (S. 19: 8394643, Pixabay.com), Jarmoluk_Sky (S. 20: 264778, Pixabay.com), Henning_W (S. 21: 4136488, Pixabay.com), Peggychoucair (S. 22: 7381390, S. 22: 4028391, S. 26: 4121807, Pixabay.com), Seaq68 (S. 24: 5621150, Pixabay.com), Tomdansen (S. 25: 8275962, Pixabay.com), Freepik (S. 27: 138375488, Freepik.com), Joakant (S. 37: 378216, Pixabay.com), Paul_Henri_Resort (S. 45: 4471852, Pixabay.com).

REDAKTIONSSCHLUSS

November 2024



ALLE THEMEN AUF EINEN BLICK

INHALT

VORWORT	04
WAS IST SEEGRAS?	06
SEEGRAS UND DAS KLIMA	08
DIE OSTSEE MIT GRAS	12
AUFFORSTUNG VON SEEGRASWIESEN	14
METHODEN UND PROJEKTZIEL	16
INTERNATIONALE ERKENNTNIS UND ENTWICKLUNG	18
VOM ANSATZ UND DEN ERGEBNISSEN	22
ANHANG – HERSTELLUNG DER AUFWUCHSTRÄGER	27
ANHANG – BEPFLANZUNG DER AUFWUCHSTRÄGER	32
ANHANG – TESTS AM OFFENEN GERINNE	38
ANHANG – AUFWUCHSTRÄGER AUF SEE	41
DANKSAGUNG	45
LITERATURVERZEICHNIS	46
AUTOR:INNEN	48

GESCHÄFTSFÜHRUNG

VORWORT



CHRISTIN KLINGER
Geschäftsführerin

Seegras also? Wer kennt es nicht von den Ostsee-Urlaube, bei denen nach einigen Sommerstürmen am nächsten Tag nicht der fein geordnete Sandstrand wartet, sondern meterlange Bahnen von angeschwemmten See-gras die Urlaubsidylle trüben? Das ist eine Perspektive, die viele von See-gras kennen und die uns vertraut erscheint. Dass das Gewöhnliche See-gras mit dem wissenschaftlichen Namen *Zostera marina* so viel mehr ist, hat bereits die Bauindustrie anklingen lassen, die das getrocknete Gras als unentflammaren Dämmstoff bei nachhaltig konstruierten Gebäuden schätzt.

Es kann aber noch mehr: Denn bei der Suche nach der ultimativen Lösung für die Reduktion globaler Treibhausgase wie Kohlenstoffdioxid werden unterschiedliche Ansätze genannt. Die Hoffnung ist groß, dass einer davon uns die Last abnimmt, in rasendem Tempo unseren Treibhausgasausstoß verringern zu müssen. Es erscheint fast illusorisch, dass ein einziger Weg die lange Entwicklung der Folgen von Industrialisierung und globaler Erwärmung in kurzer Zeit rückgängig machen könnte. Man könnte fast sagen: je größer der Druck, desto größer der Wunsch nach einfachen Lösungen.

Dennoch: Was ist einfacher, als Pflanzen im Wasser beim Wachsen zuzusehen, wie sie in ihren Wurzeln bis zu dem 30-Fachen an CO₂ im Vergleich zu Wäldern an Land speichern können? See-graswiesen können ein wichtiger Teil der Lösung sein – und doch sind auch sie durch die Klimakrise selbst bedroht. Hohe Wassertemperaturen, hohe Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft, Extremwetterereignisse auf den Weltmeeren – das alles gehört zu den Stressfaktoren für das Überleben und das Wachsen von See-gras weltweit.

Viele Fragen sind noch offen, wie es gelingt, diesen Herausforderungen nachhaltig zu begegnen. Die Stiftung Klima- und Umweltschutz MV setzt sich seit ihrer ersten Förderung im Jahr 2021 dafür ein, das großartige Potenzial dieser Pflanzen stärker auszuschöpfen. Aus der Satzung ergibt sich unser Auftrag, möglichst viele Menschen beim Klimaschutz in Mecklenburg-Vorpommern mitzunehmen und die Bedeutung dieses Thema in den Köpfen und Herzen der Bevölkerung zu verankern. See-gras erfüllt in dieser Hinsicht zwei Dinge: es ist sowohl Klimaschutz, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, als auch eine Form der Klimaanpassung, um auf die erschwerten Bedingungen im Meer zu reagieren. Deswegen interessieren uns bei diesem Forschungsprojekt in erster Linie zwei Aspekte: wie können wir die Rolle von See-gras für die Bekämpfung der Klimakrise stärken und wie können wir die Aufforstung der See-graswiesen beschleunigen?

Dafür bietet der Ansatz, die Pflanzen per Rollrasentechnik flächendeckend am Meeresboden auszurollen, vielversprechende Ergebnisse. Wir sind gespannt, wie das Projektteam rund um den Rostocker Wissenschaftler Prof. Dr. Mathias Paschen an der Ostseeküste etwas bewegen und wie die Aufforstung von See-graswiesen gelingen kann.

Klimaschutz enthält wirksame Maßnahmen zur Stabilisierung und Verbesserung des Klimas – zugleich bedeutete es auch, das Wissen um solche positiven Praktiken öffentlich zu machen und weiterzugeben. Was heißt es eigentlich, Seegraswiesen aufzuforsten? Was ist Seegras überhaupt? Welche Bedeutung nehmen diese Pflanzen für das Ökosystem in den Weltmeeren ein? Wie genau funktioniert die Rollrasentechnik unter Wasser?

Diesen Fragen möchten wir in der vorliegenden Publikation „Seegras in der Ostsee. Wie eine Aufforstung gelingen und was eine Rollrasentechnik bewirken kann“ nachgehen. Sie besteht aus zwei Teilen: zunächst stellen wir Seegras vor, was das Besondere an dieser heimischen Pflanze ist, welche Effekte sie auf das Klima hat und wo deren Ökosystemleistungen liegen, und wie ihre Bedeutung für die Ostsee zu sehen ist. Der zweite Teil widmet sich der Perspektive auf unseren Ansatz von der „Aufforstung von Seegraswiesen“. Er entstammt dem Forschungsbericht aus dem Projekt selbst, kann allerdings die Fragen nach dem Verfahren des Rollrasens anschaulich beantworten.

Unser Dank gilt den Verantwortlichen des Maritimen Kompetenzzentrums für industrienaher Forschung in der Meerestechnik (MariKom) in Rostock und dem Engagement des Start-Ups ZosteraTec mit seinen Geschäftsführern Mathias Paschen, Heinrich Meusel und Reinhard Helbig, die ihre Existenz mit der Realisierung von aufgeforstetem Seegras verknüpfen. Denn die Autor:innen schreiben selbst pointiert: das Projekt beschreibe „sowohl wissenschaftliches als auch technologisches Neuland“. Umso mehr danken wir dem MariKom-Team neben den erwähnten Professor Dr.-Ing. Mathias Paschen und Dipl.-Ing. Reinhard Helbig auch M.Sc. Daniela Glück und Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Kreft für ihren Pioniergeist und die spannenden Einblicke in die Technologie des Rollrasens unter Wasser. Die Unterstützung für die „Aufforstung von Seegraswiesen“ bedeutet für die Stiftung Klima- und Umweltschutz MV, die Möglichkeiten aufzeigen, wie Klimaschutz funktionieren kann – mit den Gegebenheiten, die wir kennen, aber deren Potenziale wir nicht immer sehen.

Lassen Sie sich gerne einladen, das bekannte Seegras, dem wir im Urlaub vielleicht etwas missmutig begegnen, neu zu sehen – seine immense Rolle als Kohlenstoffsenke und als Ort von Artenvielfalt wahrzunehmen. Lassen Sie uns gemeinsam diesen Teil des Meeres pflegen und unterstützen. Dafür setzt sich die Stiftung Klima- und Umweltschutz MV ein und möchte den Diskurs um Seegras stärken.

Sollten Sie das nächste Mal am Ostseestrand nach einem Sturm spazieren gehen und den Sand voll mit Grün erspähen, können Sie guten Gewissens sagen: Seegras also.

Ihnen wünsche ich eine spannende Lektüre!



Ihre
CHRISTIN KLINGER



SEEGRAS WAS IST DAS?

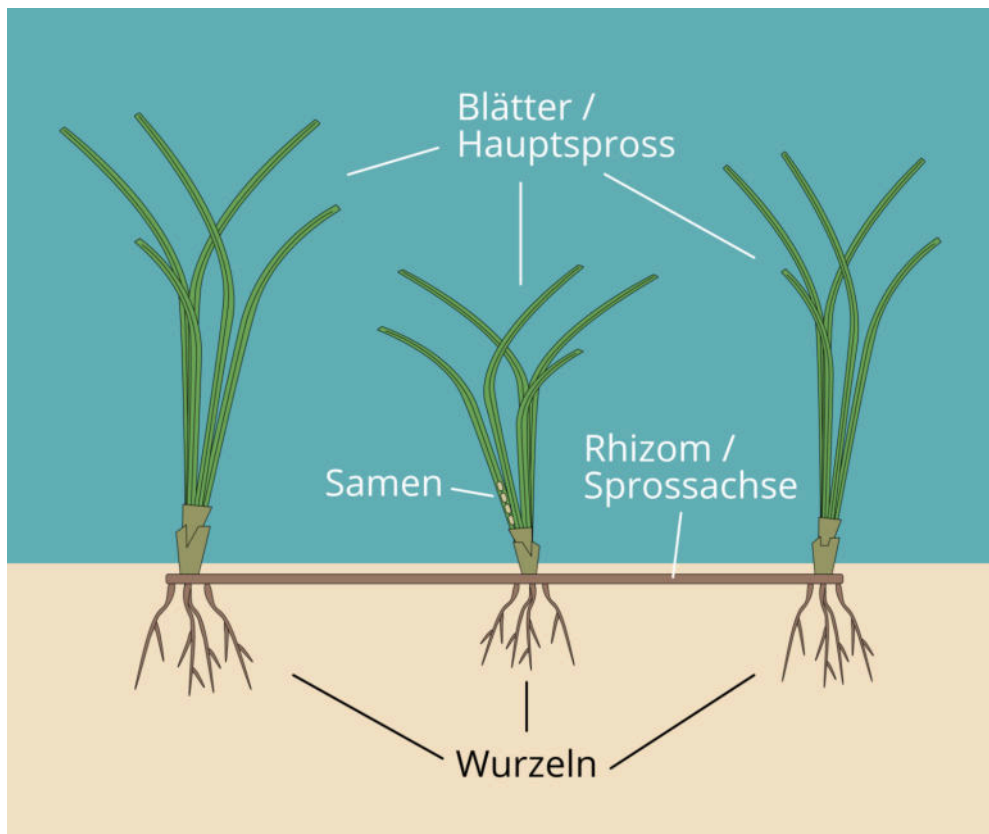
In Zeiten der Budgets von Treibhausgasen ist jeder Fingerzeig, wie wir sie einsparen können, Gold wert. Pflanzen sind natürliche CO₂-Konsumenten. Eine Pflanze kann ganz besonders viel Kohlenstoff binden.

Über diese Pflanze ist seit den Klimaprotecten viel geschrieben worden. Sie ist die Hoffnung für all jene, denen die Moorvernässung nicht schnell genug geht, denen die Baumpflanzungen an Land zu gering sind. Die Rede ist vom Seegrass, dem Gewöhnlichen Seegrass. In der Botanikersprache kommt es als *Zostera marina* daher (von Griechisch ζωστήρ / zoster = Gürtel).

Anders als der üppige Regenwald mit seinen meterhohen Baumlandschaften und stolzen Kronen oder den nebelumwobenen Mooren sieht das Seegrass eher unscheinbar aus.

Seine langen dünnen, grünen Blätter werden maximal 1 Meter lang, häufig sind sie deutlich kürzer. Beim Schwimmen ist der Ostsee begegnen sie hin und wieder einigen Badetouristen als störend auf dem sandigen Untergrund. Denn angenehm ist es nicht, in einer Seegrasswiese zu stehen – mit all den Unsicherheiten, welche Tierwelt sich zwischen den Blättern verbirgt.

Nach den typischen Stürmen auf der offenen See prägen im Sommer und Herbst lange Teppiche von aufgewirbelten und angespülten Seegrass das Bild der Strände. Die Sonne sorgt dann dafür, dass das getrocknete Gras die Strände allmählich braun einfärbt.

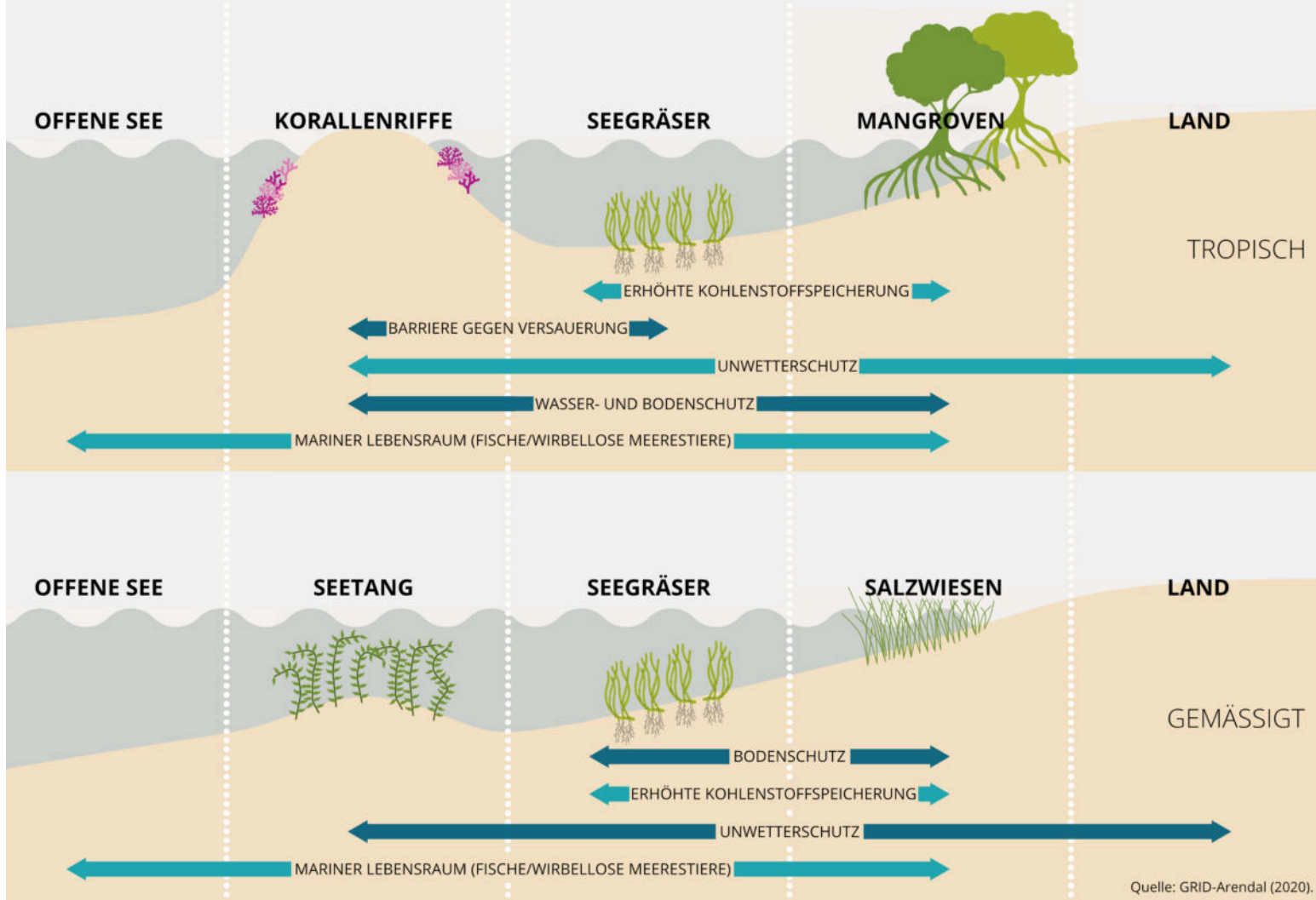


Schematischer Aufbau von Seegrasspflanzen am Meeresboden (l.).

Rolle in tropischen und gemäßigten küstennahen Lebensräumen von Seegrass zwischen Korallenriffen und Mangroven bzw. zwischen Seetang und Salzwiesen (r.).



SEEGRAS UND ANDERE KÜSTENNAHE LEBENSÄRÄUME



Und doch gibt es zwei Aspekte, die Seegras beim Baden wie auch als totes Braun positiv mit sich bringt: nachweislich verringert sich die Krankheitsdichte in der Nähe der Wiesen unter Wasser und das getrocknete Gras ist ein unschätzbare wertvoller Dämmstoff für die Bauindustrie, der schwer entflammbar ist.

Was sagt die Biologie zu Seegras?

Das Seegras gehört zur Familie der Seegrasgewächse (*Zosteraceae*). Als Blütenpflanzenart lebt es bis zu einer Tiefe von 15 Metern immer unter Wasser. Die Pflanzen zeichnen die langen „gürtelförmigen“ Blätter aus, die sichtbar aus dem Meeresboden ragen und den Hauptspross darstellen. Als krautige Pflanzen verholzen sie über die gesamte Lebensdauer nicht.

Unter dem Sediment sind die einzelnen Pflanzen verbunden durch eine Sprossachse, dem sogenannten Rhizom. Die Wurzeln der

Pflanze reichen tief in den Meeresboden und speichern dort den Großteil des Kohlenstoffs. Alle 16 Arten des Seegrases kommt weltweit nur in Meeren vor.

Besonders beim Seegras ist ihre Art der Fortpflanzung. Sie sind einhäusig getrenntgeschlechtlich, also Samenpflanzen, die sowohl weibliche als auch männliche Blüten auf einer Pflanze aufweisen. So können sie sich über das Wasser gegenseitig bestäuben. Die Blüte findet meist von Juni bis September statt.

Neben diesem generativen Weg der Fortpflanzung vermehrt sich Seegras auch vegetativ: es wachsen die Blätter, Stängel und Wurzeln einfach weiter und klonen sich. Vor der Küste Australiens hat das dazu geführt, dass es eine einzige Seegraspflanze gibt, die seit tausenden Jahren wächst und mit einer Ausbreitungsfläche von etwa 136 km² eines der größten Lebewesen auf der Erde ist. 🌿

EINFÜHRUNG



SEEGRAS UND DAS KLIMA

Seegras ist nicht nur ein Zukunftsversprechen, denn die Pflanze erfüllt bereits jetzt eine wichtige Funktion in maritimen Ökosystemen. Umso wichtiger ist es, die Bedrohungen für das Seegras selbst anzugehen und die Bestände zu schützen – und entsprechend aufzuforsten.

Bedroht sind die Bestände vor allem aufgrund anthropogener Einflüsse. Zuviel Nährstoffe aus der Landwirtschaft im Meerwasser und hohe Wassertemperaturen in der Folge der menschengemachten Klimakrise setzen die Pflanzen zusehends unter Druck. Und das kann zu einem sich selbst verstärkenden Kreislauf führen, weil bei schrumpfenden Seegrasbeständen dessen Ökosystemleistungen kleiner werden.

Ökosystemleistungen von Seegras

Was leistet eigentlich Seegras unter in den Ozeanen dieser Welt? Warum scheint es eine Schlüsselfunktion im maritimen Zusammenspiel einzunehmen?

Wie bei allen Organismen im Meer bereichert die Anwesenheit von *Zostera marina* die Vielfalt der Lebensformen. Durch ihren dichten Blätterwald bieten die Gräser zahlreichen Fischen, Muscheln und Krustentieren eine geeignete Kinderstube für deren Nachwuchs. Damit erfüllen sie eine unschätzbare wichtige Aufgabe für die **Fischerei**.

Die Wiesen sind zugleich auch Nahrungsquelle und Lebensraum für viele geschützte Arten, wie Seekühe, Meeresschildkröten, Haie oder Seepferdchen. Mit dieser **Biodiversität** gelten sie als artenreichste Orte der Erde.

Auf ganz natürliche Weise dient Seegras als **Wasserfilter**, indem es Sediment und Nährstoffe aus dem Wasser auffängt.

Eine Beobachtung aus der Wissenschaft legt nahe, dass die Gräser den Kontakt mit Krankheitserregern im Wasser vermindern können. Eine solche **Krankheitsreduktion** war bereits in der Ostsee am Beispiel der Vibrionen zu sehen.

Zudem stabilisiert Seegras den Meeresboden, verringert die Strömung und verhindert die Aushöhlung des Sediments (Kolkschutz). In dieser Funktion ist es ein wesentlicher Teil des **Küstenschutzes**.

Als Sauerstoffproduzenten regulieren die Pflanzen die chemische Zusammensetzung des Meerwassers und dienen als **Puffer gegen die Versauerung der Meere**.

Nicht zuletzt bieten Seegraswiesen einen eigenen (natur-)kulturellen Beitrag, der identitätsstiftend für die Menschen vor Ort ist. Es kann eine wichtige Rolle für den **Tourismus** einnehmen.

Effekte fürs Klima

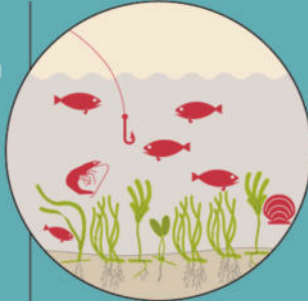
Es ist die Vielzahl der Effekte auf das Ökosystem, die die Bedeutung von Seegras für die Weltmeere besitzt. Im Detail sind ohnehin noch nicht alle Auswirkungen erforscht, wie ein Verlust von Seegrasbeständen sich auf unser Klima auswirkt. Sicher ist jedoch, dass Seegraswiesen viel Sauerstoff (O₂) produzieren und Kohlenstoff aus dem CO₂ binden. Sie stellen eine wichtige **Kohlenstoffsенke** dar, die die Auswirkungen der Klimakrise abschwächen hilft.



ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN VON SEEGRAS

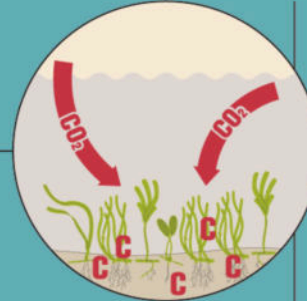
FISCHEREI

SEEGRAS UNTERSTÜTZT WELTWEIT DIE FISCHEREI UND BIETET LEBENSRAUM FÜR DEN NACHWUCHS DER KOMMERZIELLEN GEFANGENEN FISCHE, MUSCHELN UND KRUSTENTIERE.



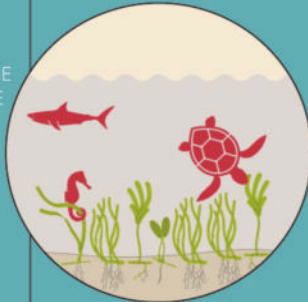
KLIMA-REGULATION

SEEGRASWIESEN LAGERN EINEN GROSSTEIL DES KOHLENSTOFFS IN IHRER BIOMASSE SOWIE IM SEDIMENT EIN UND HELFEN DAMIT, DEN KLIMAWANDEL ABZUSCHWÄCHEN.



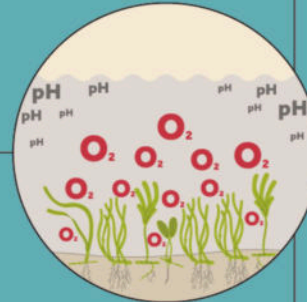
BIODIVERSITÄT

SEEGRASWIESEN SIND HOTSPOTS FÜR MARITIME BIODIVERSITÄT, INKLUSIVE GESCHÜTZTER ARTEN WIE SEEKÜHE, MEERESCHILDKRÖTEN, HAIE UND SEEPFERDCHEN.



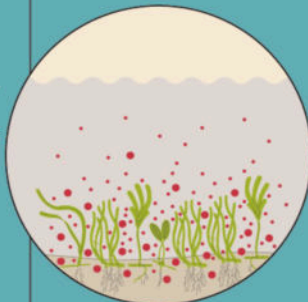
PUFFER GEGEN VERSAUERUNG DER MEERE

SEEGRASWIESEN REGULIEREN DIE CHEMISCHE STRUKTUR DES MEERWASSERS DURCH DIE ABGABE VON SAUERSTOFF UND DIE AUFNAHME VON KOHLENDIOXID UND PUFFERN DIE MEERESVERSAUERUNG AB.



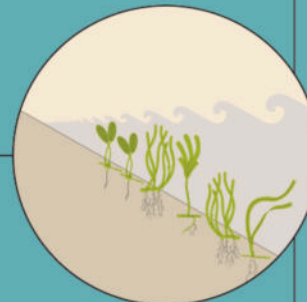
WASSER-FILTRATION

SEEGRAS IST EIN NATÜRLICHER FILTER, INDEM ES SEDIMENT UND HOHE NÄHRSTOFFE AUS DEM WASSER AUFFÄNGT.



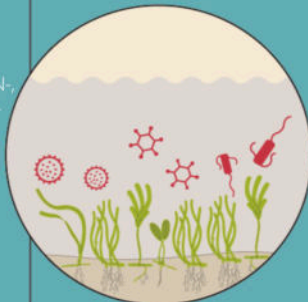
KÜSTENSCHUTZ

SEEGRAS VERHINDERT KÜSTENEROSION UND SCHÜTZT VOR ÜBERFLUTUNGEN UND FLUTWELLEN.



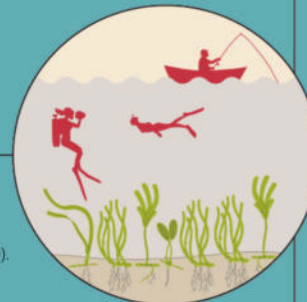
KRANKHEITS-REDUKTION

SEEGRAS DÄMMT HUMAN-, FISCH- UND KORALLENKRANKHEITEN EIN, INDEM ES DEN KONTAKT MIT DEN ERREGERN VERMINDERT.



TOURISMUS




SEEGRASWIESEN BIETEN KULTURLEISTUNGEN, DIE IDENTITÄTSSTIFTEND FÜR DIE MENSCHEN VOR ORT SIND, UND FREIZEITAKTIVITÄTEN (WIE VOGELBEOBACHTUNG, TAUCHEN, FISCHEN).

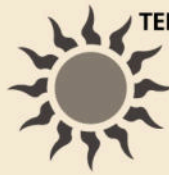


Quelle: GRID-Arendal (2020).

BEDROHUNGEN FÜR SEEGRAS-ÖKOSYSTEME

BEEINFLUSST:

-  **LEBENSRAUM**
-  **WASSERQUALITÄT**
-  **WACHSTUM**



TEMPERATURANSTIEG

VERLUST VON LEBENSRAUM DURCH
HITZESTRESS, KRANKHEITEN UND
ABNEHMENDER TIEFWELT AM
MEERESGRUND

LANDWIRTSCHAFTLICHE ABWÄSSER

HOHE NÄHRSTOFFEINTRÄGE REDUZIEREN
DAS LICHT FÜR DIE PHOTOSYNTHESE



SCHIFFFAHRT

VERLETZUNGEN DES SEEGRASES DURCH
SCHIFFSSCHRAUBEN, VERMINDERTE
WASSERKLARHEIT DURCH
AUFWIRBELUNGEN NACH
BOOTSWELLEN

MEERESSPIEGELANSTIEG

VERLUST VON LEBENSRAUM,
WO DIE AUSBREITUNG ZUR
KÜSTENLINIE VERSPERRT IST

SCHLEPPNETZE

DIREKTER SCHADEN DURCH
FISCHEREIAUSRÜSTUNG WIE SCHLEPP-
UND WADENNETZE MIT VERÄNDERUNGEN
AUF DIE TIERWELT AM MEERESGRUND

ERNTE

LOKALER VERLUST DURCH
ERNTE DER PFLANZEN

INVASIVE ARTEN

VERLUST VON SEEGRAS BEDINGT
DURCH INVASIVE PFLANZEN UND
VERÄNDERTE ZYKLEN DES WACHSTUMS
VON SEEGRAS DURCH INVASIVE TIERE

MEISTENS WÄCHST SEEGRAS IN TIEFEN
VON WENIGER ALS 15 METERN.

OBJEKTE IN DIESER GRAFIK SIND NICHT MASSSTABSGETREU.
MANCHE BEDROHUNGEN SIND SOGAR NÄHER, ALS SIE SCHEINEN.



VERÄNDERTER NIEDERSCHLAG

ÄNDERUNG DER SALINITÄT SOWIE ERHÖHTE ANTEILE VON SINK- UND NÄHRSTOFFEN



ERHÖHTE FREQUENZ DER ZERSTÖRUNG VON KÜSTENNAHEM SEEGRAS, ABNEHMENDE WASSERKLARHEIT MIT GRÖßEREN REGENFÄLLEN

STÄDTISCHE INFRASTRUKTUR

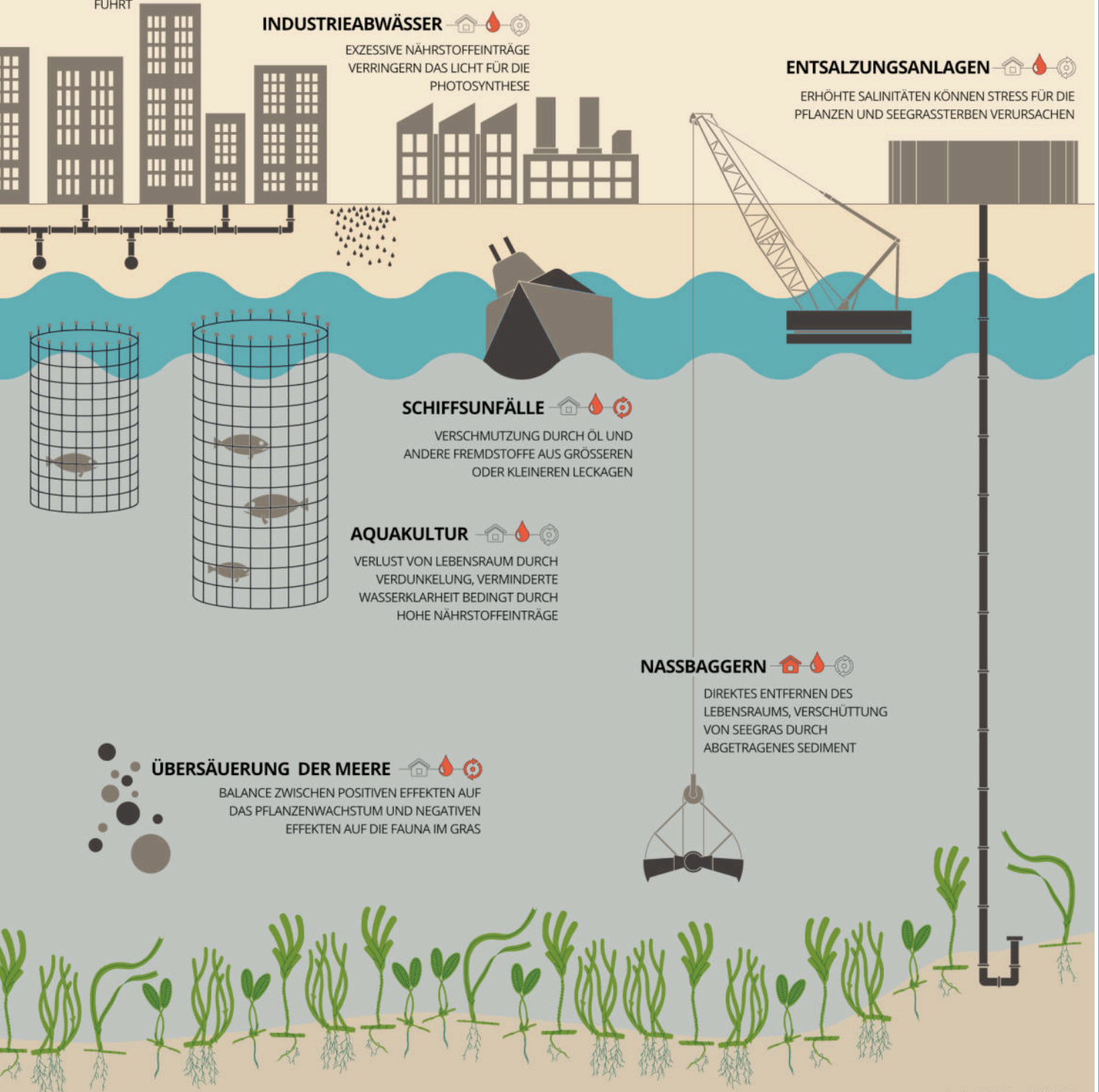
DIREKTE ZERSTÖRUNG VON SEEGRASWIESEN, DIE ZUR VEREINZELUNG DER PFLANZEN FÜHRT

INDUSTRIEABWÄSSER

EXZESSIVE NÄHRSTOFFEINTRÄGE VERRINGERN DAS LICHT FÜR DIE PHOTOSYNTHESE

ENTSALZUNGSANLAGEN

ERHÖHTE SALINITÄTEN KÖNNEN STRESS FÜR DIE PFLANZEN UND SEEGRASSTERBEN VERURSACHEN



SCHIFFSUNFÄLLE

VERSCHMUTZUNG DURCH ÖL UND ANDERE FREMDSTOFFE AUS GRÖßEREN ODER KLEINEREN LECKAGEN

AQUAKULTUR

VERLUST VON LEBENSRAUM DURCH VERDUNKELUNG, VERMINDERTE WASSERKLARHEIT BEDINGT DURCH HOHE NÄHRSTOFFEINTRÄGE

NASSBAGGERN

DIREKTES ENTFERNEN DES LEBENSRAUMS, VERSCHÜTTUNG VON SEEGRAS DURCH ABGETRAGENES SEDIMENT

ÜBERSÄUERUNG DER MEERE

BALANCE ZWISCHEN POSITIVEN EFFEKTEN AUF DAS PFLANZENWACHSTUM UND NEGATIVEN EFFEKTEN AUF DIE FAUNA IM GRAS

Quelle: GRID-Arendal (2020).



EINFÜHRUNG



DIE OSTSEE MIT GRAS

Das Entwicklungsvorhaben hat zum Ziel, ein validiertes technologisches Konzept zur Aufforstung von Seegraswiesen in der Ostsee zu erarbeiten, das sowohl aus ökologischen als auch aus betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten geeignet und akzeptabel ist.

In der Ostsee gibt es von den weltweit vorkommenden 16 Arten der Zostera-Familie lediglich 2 Seegrasarten: das Zwergseegras (*Zostera noltii*) und das erwähnte Gewöhnliche Seegras (*Zostera marina*). Letzteres macht allerdings den überwiegend größeren Teil der Bestände in der Ostsee aus.

Was ist das Besondere an der Ostsee?

Das Baltische Meer, wie sie im Englischen und vielen anderen Sprachen genannt wird, ist ein Binnenmeer. Es speist sich aus den Flüssen der Anrainerländer und vermischt sich beim Belt mit dem Wasser der Nordsee. Sein Salzgehalt ist verglichen mit den Ozeanen gering, rund um Finnland weist die Ostsee sogar fast

eine Süßwasserstruktur auf. Gerade der Salzgehalt des Wassers ist für Seegraspflanzen entscheidend und bestimmt ihr Wachstum.

Mit den steigenden Temperaturen in Folge der Klimakrise erwärmen sich die Binnenmeere weltweit. Davon sind beispielsweise das Mittelmeer und die Ostsee besonders betroffen - hier ist die Wassererwärmung bereits längst über 2°C im Durchschnitt gestiegen.

Für das Wachstum des Seegrases in der Ostsee heißt das, mit diesen Bedingungen klarzukommen zu müssen. Die Pflanzen passen sich zu einem gewissen Grad an die Umgebung an, können aber nicht ohne Weiteres verpflanzt werden: Seegras aus der Nordsee würde in der Ostsee nicht überleben und andersherum.



Aufforstung von Seegraswiesen

Seit November 2021 verfolgen interdisziplinäre Forschungsteams von MariKom, dem Maritimen Kompetenzzentrum für industriennahe Forschung in der Meerestechnik, die Aufforstung von Seegraswiesen. Aus diesem Projekt erfolgte die Ausgründung des Startups ZosteraTec. Von Beginn an arbeiteten der Ingenieur Prof. Dr. Mathias Paschen als Projektleiter sowie Biologin Daniela Glück und Ingenieur Reinhard Helbig an einer ganz neuen Technologie, die zunächst am Riff Rosenort in der Ostsee vor Graal-Müritz erprobt wurde. Mittlerweile wurde der Forschungsbereich ausgeweitet. Die Stiftung Klima- und Umweltschutz MV unterstützte den erste Projektabschnitt mit insgesamt 185.000 Euro.

Das Ziel war es, Seegras ähnlich wie Rollrasen an geeigneten Stellen auf dem Meeresboden auszubringen und dauerhaft anzusiedeln. Die bisherige Aufforstungspraxis beruht im Wesentlichen auf einem manuellen Einsetzen einzelner adulter Pflanzen in den Meeresboden durch Taucher:innen. Dieses Vorgehen ist mühsam, zeitaufwändig und teuer, weswegen das Team von MariKom und ZosteraTec nach günstigen und effektiven Aufforstungsmethoden forschte.

Im Folgenden wird das Projekt „Aufforstung von Seegraswiesen“ von den Projektbeteiligten vorgestellt und erläutert. Sie zeigen, wie die neue Methode des Rollrasens funktioniert und auf welche Fallstricke man in der Umsetzung unter Wasser stößt.

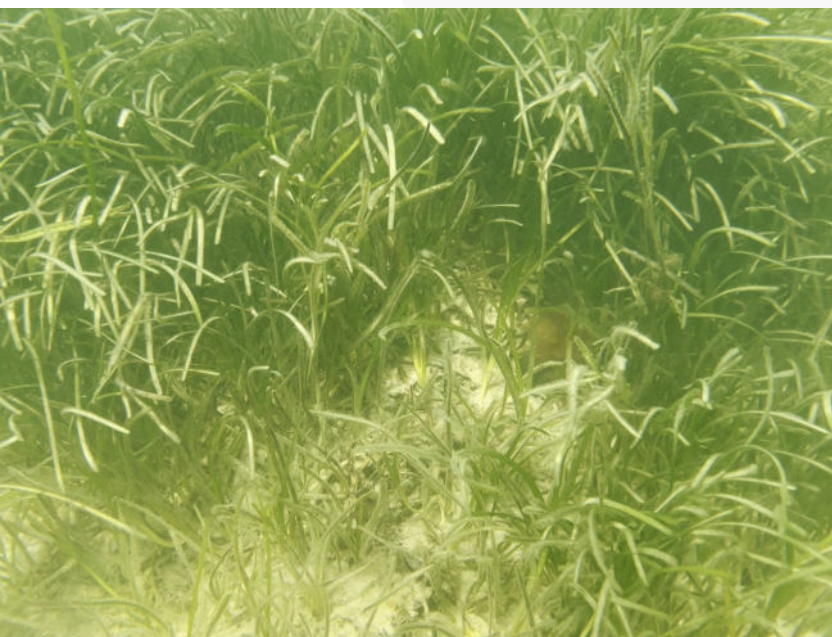
Schon jetzt kann man sagen, dass der Ansatz vielversprechend ist und einige Antworten bietet auf die Fragen der Klimakrise, die die Ostsee und ihr Ökosystem extrem unter Druck setzen. Die Aufforstung ist keine Erleichterung eines schlechten ökologischen Gewissens, sie ist schlichte Notwendigkeit des menschlichen Lebensraumes der Ostsee – und damit essenziell für Mecklenburg-Vorpommern mit seinen 377 km Küstenlinie. 🌱

LITERATURTIPP

Hintergrundpapier

SEEGRASWIESEN

Der Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) bietet weiterführende Informationen zu Seegräsern an. Eine Übersicht ist hier zu finden: https://www.nabu.de/imperia/md/content/mecklenburgvorpommern/230607-nabu-hintergrundpapier_seegraswiesen.pdf



MATHIAS PASCHEN, DANIELA GLÜCK,
REINHARD HELBIG, HANS-JÜRGEN KREFT



ZUSAMMENFASSUNG AUFFORSTUNG VON SEEGRASWIESEN

Seegraswiesen säumen nahezu alle Küstenregionen der Ozeane und Randmeere. Sie kommen sowohl in marinen als auch in brackigen Gewässern vor; ihr Verbreitungsgebiet erstreckt sich von den Tropen bis hin zum Polarkreis, siehe Reynolds.¹⁵

Seegräser wachsen auf Sandböden; sie kommen je nach Wasserqualität von der Wasseroberfläche bis zu einer Tiefe von 40 m vor. Seegraswiesen gehören zu den ozeanischen Lebensräumen mit der höchsten Primärproduktion. Ein signifikanter Teil der Biomasse wird im Meeresboden in den Rhizomen und Wurzeln der Seegräser produziert. Dadurch binden sie dauerhaft Kohlendioxid in Form von Kohlenhydraten.

Darüber hinaus bieten sie zahlreichen Fischarten Laichplätze sowie Habitate zum Aufwachsen der Jungtiere. Großflächige Seegraswiesen dämpfen die Bewegungsenergie der bodennahen Meeresströmung und tragen so zur Verringerung von Bodenerosionen und zur Vermeidung von Kolkbildung (Auswaschung) an Küstenbauwerken bei.

Verschiedene Literaturquellen beziffern die weltweite Ausdehnung von Seegraswiesen mit etwa 600.000 km². Das entspricht etwa der Fläche der Republik Frankreich.

Beunruhigend ist der im 20. Jahrhundert beobachtete signifikante Rückgang von Seegraswiesen weltweit um ca. 1,5 %/a¹. Die Zahlen für die Nord- und Ostsee werden höher angesetzt, so dass die Helsinki-Kommission zum Schutz der Ostsee die Bestände in der Ostsee inzwischen als stark gefährdet einstuft.

Meereswissenschaftler:innen sehen mögliche Ursachen in der vom Klimawandel hervorgerufene Erwärmung der Meere, der dadurch steigende Nährstoffeintrag an einzelnen Stellen sowie Krankheitserreger. Wissenschaftliche Studien belegen, dass sich die Wasserqualität an vielen Ostsee-Standorten in den letzten Jahren zwar deutlich verbesserte, eine Wiederansiedlung von Seegraswiesen auf natürlichem Wege, das heißt von alleine, jedoch bisher weitgehend ausblieb.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt das von der

Leibniz Universität Hannover koordinierte Forschungs- und Entwicklungsprojekt SeaStore, ein Pilotprojekt zur Unterstützung der Wiederansiedlung von Seegraswiesen an der deutschen Ostseeküste. Im Fokus stehen insbesondere Grundlagenstudien über die Ökosystemleistungen und den ökologischen Wert von Seegraswiesen.

Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben **Technologieentwicklung zur Aufforstung von Seegraswiesen mittels textlbasierter, kunststofffreier Aufwuchsträger** geht davon aus, dass Seegraswiesen einen Wert an sich haben, ohne ihn messen zu können.

Dieses Projekt ist in erster Linie ein technologieorientiertes Vorhaben, das im Wesentlichen auf Erkenntnisse der naturwissenschaftlichen Meereswissenschaften aufbaut. Projektziel ist es, einen validierten Demonstrator für ein marktreifes Konzept zur Aufforstung von Seegraswiesen mit Hilfe textlbasierter, kunststofffreier Aufwuchsträger zu entwickeln, der am Projektende noch genügend Potenzial zur weiteren Qualifizierung von Technik und Technologie besitzen wird.



Die projektbezogenen technologischen Aufgaben konzentrierten sich auf:

1. die Materialauswahl, Konstruktion, Fertigung und Erprobung der Aufwuchsträger,
2. die Vorbehandlung, Einbringung und Keimung des Saatgutes unter noch zu schaffenden kontrollierten Bedingungen,
3. die Transportvorbereitung und -durchführung der sich im Aufwuchsträger entwickelten Seegraspflanzen,
4. die Ausbringung der Aufwuchsträger mit den Seegräsern sowie
5. das anschließende, in Abständen zu wiederholende Monitoring der mit Seegräsern ausgebrachten Aufwuchsträger.

Es war von Beginn des Projektes an klar, dass sowohl wissenschaftliches als auch technologisches Neuland beschritten wird. Das Gesamtergebnis der bisherigen Projektarbeit lässt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Es wurde der Beweis erbracht, dass die Aufforstung von Seegraswiesen nach dem Rollrasenprinzip praktisch umsetzbar ist.
2. Sowohl die weitgehend auf experimentellem Weg ermittelten Forschungsergebnisse als auch das im Projektzeitraum gewonnene Erfahrungswissen stellen eine Erweiterung des bisherigen Stands wissenschaftlicher Erkenntnis und technologischer Praxis dar.
3. Die gewonnenen Ergebnisse wurden auf zwei internationalen wissenschaftlichen Veranstaltungen einem sachkundigen Auditorium vorgestellt und veröffentlicht.
4. Wie bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten üblich, die weitgehend Neuland beschreiten, wurde das Projektteam wiederholt mit Herausforderungen konfrontiert, die zuvor nicht bzw. kaum vorhersehbar waren. Insofern sind noch einige Fragen auch am Projektende offen geblieben.

Zusammenfassend sind nachfolgende Vorteile der Rollrasentechnologie gegenüber marktüblicher Einzelpflanzung herauszustellen:

- Aufwuchsträger werden mit hoher Effizienz und Reproduzierbarkeit auf Textilmaschinen produziert,
- Vorkultur aus Samen möglich,
- Saatgut kann während der Herstellung maschinell in die Aufwuchsträger integriert werden,
- Aufbau der Seegraswiesen entsprechend vorgegebenem Pflanzenraster und Kundenwunsch an Land realisierbar (Vorkultur),
- Wurzelwachstum und Wachstumsfortschritt der Pflanzen in Vorkulturbecken objektiv bewertbar,
- Hohe Flächenleistung unter Wasser durch Rollrasenprinzip mit Taucherunterstützung, Vernagelung und / oder Beschwerung möglich,
- Modularer Aufbau durch Geometrievielfalt und einfache Verbindungsmöglichkeiten der textilen Halbzeuge realisierbar,
- Befestigung der Matten durch Beschwerung und Vernagelung auch auf grobkörnigen Untergründen möglich und
- Entwicklung halbautomatischer, mechanisierter Installationstechnologien mit Unterwasserrobotik sollten zukünftig möglich sein. ●

¹ Es gibt Literaturquellen, die einen wesentlich höheren Prozentsatz angeben. Die Expertise der Autor:innen ist in diesem Falle nicht ausreichend, um das beurteilen zu können.



MOTIVATION UND PROJEKTZIEL

Zahlreiche nationale und internationale wissenschaftliche Publikationen beweisen hinreichend, dass ausgedehnte Seegraswiesen in Küsten- und Mündungsgebieten positive wirtschaftliche einschließlich sozioökonomische, ökologische sowie gesundheitsfördernde Auswirkungen haben.

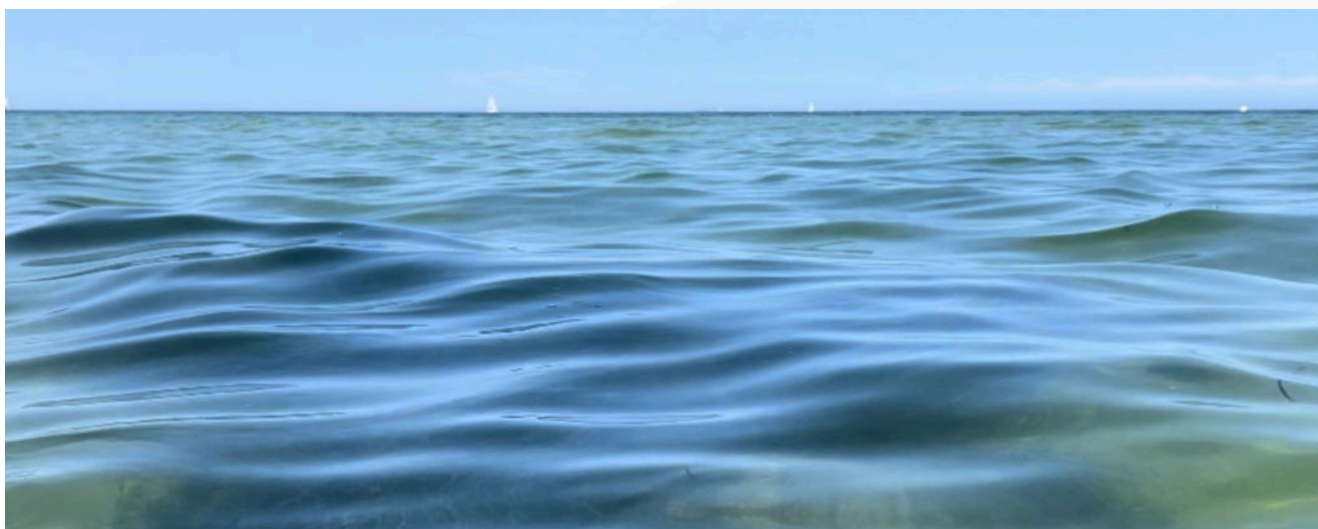
Welche wertvollen Auswirkungen Seegraswiesen für den Klimaschutz und die Artenvielfalt haben können, ist unstrittig (siehe die Einführung [Seegras und das Klima](#)).

Allerdings werden diese positiven Effekte durch den **seit Jahrzehnten beobachteten deutlicher Rückgang der Seegraswiesen in der nördlichen Hemisphäre** erheblich eingeschränkt. Die Ursachen hierfür sind vielschichtig – globale Erwärmung, lokaler Nährstoffeintrag, Krankheiten.

Wenngleich in manchen Meeresregionen eine Stagnation des Rückgangs zu beobachten ist, so schätzen Fachleute dennoch ein, dass eine natürliche Wiederansiedlung mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird. Aus diesem Grunde wird die Entwicklung und Anwendung so genannter Wiederansiedlungshilfen in zahlreichen Ländern als notwendige Maßnahme propagiert.

Vor diesem Hintergrund entwickelten die Autoren eine ökologisch und betriebswirtschaftlich nachhaltige Technologie zur Wiederaufforstung von Seegraswiesen mittels textiler, kunststofffreier Aufwuchsträger. Grundlage des technologischen Ansatzes ist das bekannte Rollrasen-Prinzip. Jungpflanzen werden auf speziell entwickelten textilen, kunststofffreien Aufwuchsträgern in gärtnerischer Weise verpflanzt und unter kontrollierten Bedingungen – bisher an Land – vorkultiviert. Nach einer zeitlich befristeten Periode von wenigen Wochen werden die Aufwuchsträger mit den Pflanzen auf dem Meeresboden ausgebracht.

Ziel ist es, dass die Pflanzen dann möglichst rasch in den Meeresboden hineinwachsen. Sobald die Pflanzen ausreichend im Sediment verwurzelt sind, haben die Aufwuchsträger ihre Aufgabe erfüllt und sollen



dann biologisch rückstandslos abgebaut werden. Diese Prozesse zu beobachten, ist Aufgabe regelmäßiger Monitorings.

Die Ergebnisse mehrerer Testserien bei der landseitigen Vorkultur sowie die Installation auf verschiedenen Lokationen der Ostsee belegen die Praktikabilität dieser Technologie. Allerdings muss auch eingeschätzt werden, dass eine großskalige Anwendung dieser Technologie im zurückliegenden Projektzeitraum nicht erreicht werden konnte. Während

die Bereitstellung geeigneter Aufwuchsträger unproblematisch ist, gab es bei der zeitlich angemessenen Verfügbarkeit nutzbaren Saatguts und der Seegraspflanzen in ausreichender Anzahl sowie bei der erforderlichen Vorkultur noch quantitative Einschränkungen, die es in der Zukunft zu überwinden gilt. 🍀

Die Arbeiten am Seegras finden unter Wasser am Aufwuchsträger (linke Seite) und auch im Gewächshaus statt. Das Aufforsten und die innovative Forschung dazu unterstützt die Klimastiftung MV von Beginn an mit ihrer Geschäftsführerin Christin Klinger (3.v.r.) – zusammen mit dem Projektleiter Prof. Dr. Mathias Paschen (m.), dem Textilingenieur Reinhard Helbig (r.) sowie der betreuenden Meeresbiologin Daniela Glück (3.v.l.).



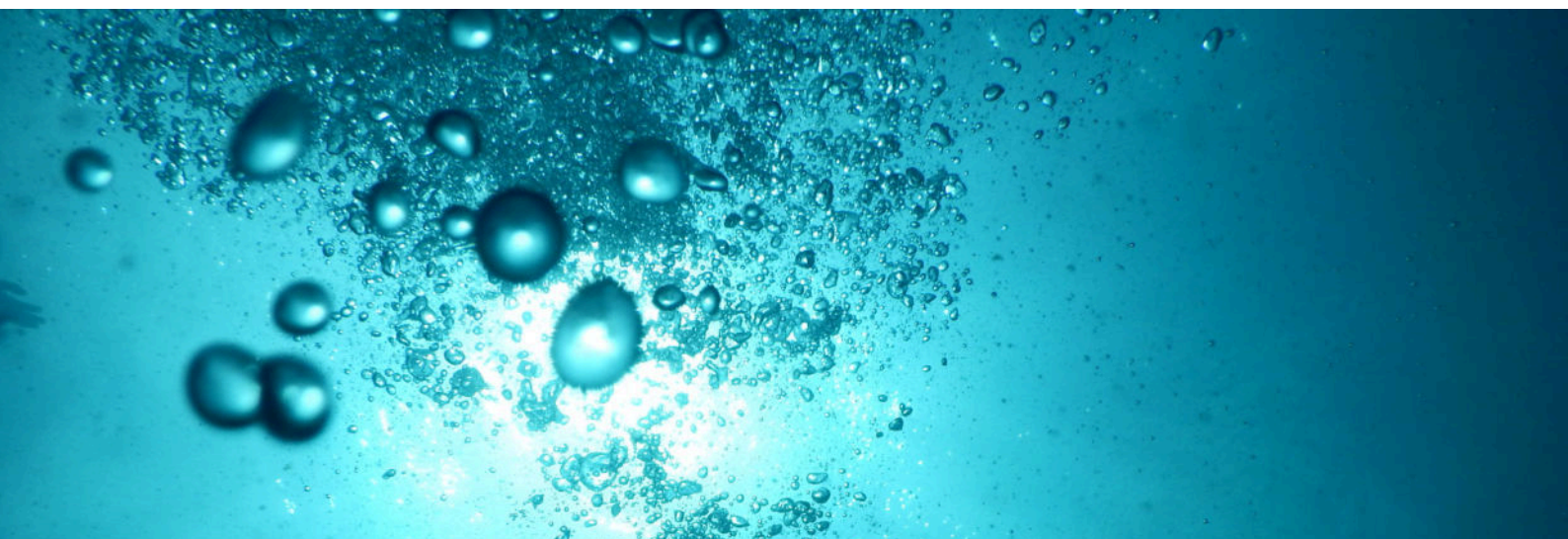


INTERNATIONALE ERKENNTNIS UND ENTWICKLUNG

Seegraswiesen fördern Biodiversität und bieten wichtige Ökosystemleistungen wie Kohlenstoffbindung und Sedimentstabilisierung, die für den Klima- und Küstenschutz von großer Bedeutung sind.

Bei der Suche nach geeigneten Kohlenstoffspeichern zur Senkung des klimaschädlichen Kohlendioxids (CO₂) spielen die Ozeane und Randmeere eine entscheidende Rolle. In der von der Deutschen Allianz Meeresforschung (DAM) herausgegebenen Broschüre „**Gezielte Kohlendioxid-Entnahme** – Welche Möglichkeiten meeresbasierte Verfahren bieten und wie diese erforscht werden“ wurde die Bedeutung vegetationsreicher Küstenökosysteme als Kohlenstoffspeicher in beeindruckender Weise herausgearbeitet. Wörtlich zu lesen ist dort u.a.: ¹⁰

„Bei der Suche nach Wegen, die Kohlendioxid-Aufnahme des Ozeans zu verstärken, fällt der Blick zunächst auf unsere Küstenlebensräume – wichtige Schlüsselakteure im Kohlenstoffkreislauf des Meeres. Hierzu gehören vor allem vegetationsreiche Ökosysteme im Gezeiten- und Flachwasserbereich (bis 40 Meter Wassertiefe) wie Salzmarschen, Seegraswiesen, Mangroven- und Tang- oder Kelpwälder. Ihre Verbreitungsgebiete machen zusammengenommen weniger als ein Prozent der weltweiten Meeresfläche aus, die Gezeitenzone mit eingeschlossen. Gemeinsam sind die Wiesen und Wälder des Meeres jedoch für einen signifikanten Teil des im Meeresboden eingelagerten Kohlenstoffs verantwortlich. Salzmarschen, Seegraswiesen, Mangroven- und Tangwälder gelten als hochproduktive Ökosysteme und Kohlenstoffsinken. Im Zuge ihrer Photosynthese nehmen sie Kohlendioxid aus der Atmosphäre und aus dem Meerwasser auf und binden den darin enthaltenen Kohlenstoff“.





Wissenschaftlich erwiesen ist, dass Salzwiesen, Mangroven und Seegraswiesen große Mengen an Kohlenstoff anhäufen. In der Literatur wird darauf verwiesen, dass die Dicke derartiger Lagerstätten mitunter zehn und mehr Meter betragen kann. Solange die entsprechenden Ökosysteme gesund sind, bleiben diese Lagerstätten Jahrhunderte, mitunter sogar Jahrtausende erhalten.^{8 10 17}

Seegraswiesen sind nicht nur wegen ihrer Fähigkeit, große Kohlenstoffmengen speichern zu können, bedeutsam; sie verhindern zudem auch Kolkbildungen an Küstenbauwerken und Küstenschutzeinrichtungen, vermindern Erosionen am Meeresboden und an Strandabschnitten mit den damit verbundenen Folgen.^{1 6 7 11}

Seegraswiesen erbringen einer Studie von Forschenden des Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel GEOMAR zufolge eine weitere Ökosystemleistung für uns Menschen. Sie fanden heraus, dass heimische Seegraswiesen auch die Wasserqualität in Bezug auf potenziell gefährliche Bakterien verbessern können: Wasser aus den dicht bewachsenen untermeerischen Flächen enthält weniger Vibrionen – natürlich vorkommende Bakterien, die in hohen Konzentrationen gesundheitsschädlich sein können.¹⁸

Projekte zum Monitoring und zur Wiederansiedlung von Seegraswiesen

Seegraswiesen sind seit wenigen Jahren ein beherrschendes Thema der Meereswissenschaften im In- und Ausland. In wissenschaftlichen Zeitschriften sowie im Internet sind zahlreiche Publikationen und wissenschaftliche Beiträge zum Thema Seegraswiesen zu finden. Diese reichen von der reinen Kartierung von Seegraswiesen-Vorkommen über Analysen zum Einfluss physikalischer und chemischer Parameter auf deren Entwicklung bis hin zu Studien, die sich auf die Renaturierung von Seegrasfeldern fokussieren.^{19 20 21 1 2 17}

Auszugsweise sollen einige Arbeiten etwas näher betrachtet werden, da einzelne Ergebnisse für das eigene Projekt eine gewisse Relevanz besitzen:

*Bittick*² berichtet über ihre Untersuchungen in der **Boundary Bay**, der größten Seegraswiese in Kanadas Pazifikregion. Diese ist aufgrund ihrer Lage am *Pacific Flyway* international als wichtiges Mündungsgebiet für Zugvögel anerkannt. Schwerpunkt ihrer Untersuchungen ist zum einen der Gesundheitszustand der vorhandenen Seegrasfelder unter dem Einfluss landwirtschaftlicher Einleitungen und der Stoffwechselprodukte durch den Vogelzug. Zum anderen geht es ihr um eine ganzheitliche Analyse der Entwicklung / Reaktion des

gesamten Ökosystems (einschließlich Mikrokosmos) bei gezielter Einbringung von definierten Nährstoffen quasi als Störgröße. Dazu werden kleine, aus alten Damenstrümpfen gefertigte Säckchen mit einer bestimmten Nährstoffart gefüllt und im Seegrasfeld positioniert. Diese Säckchen sorgen für eine nur langsame und regional beschränkte Ausbreitung. Die Reaktionen des gesamten Mikrokosmos wurden über einen längeren Zeitraum aufgezeichnet und anschließend bewertet.

In dem gemeinsamen Projekt **SeaStore** des Ludwig-Franzius-Instituts und des Instituts für Kunststoff- und Kreislauftechnik der Leibniz Universität Hannover sowie des Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel GEOMAR untersuchen die beteiligten Partner verschiedenartige Möglichkeiten zur Wiederansiedlung von Seegraswiesen. Dazu führen sie Experimente sowohl auf Restaurationsversuchsflächen an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins als auch im Wellenbecken sowie in einem Strömungskanal der Leibniz Universität durch. Ein Schwerpunkt widmet sich der Klärung geeigneter Wiederansiedlungsmethoden.



Auf der Homepage zu diesem Projekt heißt es wörtlich: „Dabei geht es beispielsweise um die Fragen, wie dicht Seegras-Sprösslinge gepflanzt werden müssen, um den gewünschten Sedimentationseffekt herbeizuführen und welche Rolle die neu entwickelte SeaStore-Anwuchshilfe hierbei spielen könnte. Diese soll, wie ihr Name schon sagt, neu gepflanzten Gräsern helfen, der Kraft von Strömungen und Wellenschlag zu trotzen, sodass aus wenigen Sprösslingen alsbald große, gesunde Seegraswiesen entstehen können“.²

Leider werden die oben erwähnten „Anwuchshilfen“ nicht weiter beschrieben. Die Darstellungen sind jedoch so zu interpretieren, dass die einzelnen Pflanzen per Hand durch Taucher in das Sediment eingesetzt werden, wie Fernsehberichte über Aktivitäten des GEOMAR dokumentieren. Anschließend wird eine Anwuchshilfe zum Schutz der Pflanzen vor Strömung und Seegang angebracht.

Das in Wales und Schottland beheimatete **PROJECT SEAGRASS** existiert bereits seit zehn Jahren. Ziel dieses Projekts ist es, „einen gesellschaftlichen Wandel herbeizuführen, um die Anerkennung, Wiederherstellung und Widerstandsfähigkeit von Seegrasökosystemen weltweit zu ermöglichen und durch biologische Vielfalt für gerechte und nachhaltige Lebensgrundlagen zu sorgen“.³ Im Rahmen dieses Projektes werden u.a. Seegraspflanzen auch aus Saatgut in großen Teichen herangezogen, wie man sie typischerweise aus der Karpfenzucht her kennt.⁴

An der **Universität Groningen**, Niederlande, laufen u.a. Forschungsarbeiten zur Wiederherstellung von subtidalem Seegras im niederländischen Wattenmeer. Dazu werden Seegraspflanzen genutzt, die zuvor in dänischen Gewässern geerntet wurden. Die Pflanzen werden für Experimente in Klimakammern und Gewächshäusern der Universität verwendet. Danach werden sie im niederländischen Teil des Wattenmeeres ausgepflanzt. Die Anpflanzung erfolgt auch hier manuell.

Die Firma **Salix** (Sales and Croxton Nursery) aus Thetford im britischen Norfolk, hat sich auf Produkte zur Flussrenaturierung, zum Erosionsschutz und zur Verbesserung von Lebensräumen spezialisiert. Unter anderem bietet sie auch aus Kokosfasern hergestellte schwere großmaschige Netze an. Diese werden über zuvor per Hand in den Meeresboden eingepflanzte Seegräser und andere Wasserpflanzen gelegt, um insbesondere Erosionen am Meeresboden zu unterbinden. Die Firma wirbt damit, dass es sich hierbei um einen langlebigen Erosionsschutz handelt.⁵ Auch hierbei müssen die Seegräser und andere Pflanzen zuvor manuell in den Meeresboden gepflanzt werden. Kokosfasern sind nach allgemeiner Auffassung ökologisch unbedenklich; sie sind jedoch langlebig und verbleiben demzufolge über einen langen Zeitraum als vollständige Netzstruktur im Meer.

² <https://www.seegraswiesen.de/de/forschungsprojekt/forschungsfragen/>

³ <https://www.projectseagrass.org/> Übersetzung aus dem Englischen durch die Autoren.

⁴ Die Leiterin der *Seagrass Nursery*, Emily Yates, hatte sich bereit erklärt (E-Mail vom 15.07.2023) dem Projekt für Laborversuche 1.000 Seegrassmatten zur Verfügung zu stellen. Jedoch scheiterte das Vorhaben offensichtlich an geltenden Ausführungsbestimmungen des britischen Zollrechts.

⁵ Aus Kokosfasern gefertigte Netze werden – auch anderenorts – nicht nur im Wasserbau, sondern auch im terrestrischen Bereich unter anderem zur Stabilisierung von Böschungen erfolgreich eingesetzt.

WESENTLICHE ERKENNTNISSE AUS DER LITERATUR

- Es konnten bisher **keine Publikationen** oder sonstigen Hinweise gefunden werden, die die **Anwendung von Aufwuchsträgern** zur Aufforstung von Seegraswiesen zum Gegenstand haben. Alle bisher bekannten Verfahren basieren auf einer manuellen Bepflanzung durch Taucher:innen.
- Die relative **Häufigkeit von Seegraswiesen** liegt in der westlichen Ostsee zwischen **einem und vier Metern** Wassertiefe. Danach ist ein erheblicher Rückgang erkennbar.¹⁹
- **Licht ist eines der wichtigsten Umweltfaktoren** für das Wachstum und das Überleben von Seegras und daher eine wesentliche Messgröße bei der Auswahl geeigneter Standorte für die Ansiedlung.⁴
- Die Studie⁴ zeigt, dass die **Verwendung von Sprossen** erfolgreich zur Wiederherstellung von Seegras in schwedischen Breitengraden eingesetzt werden können. Das Überleben und das Wachstum von unverankerten Einzelsprossen, die ohne Sediment in flache Lebensräume (1,0 m bis 1,5 m) verpflanzt wurden, waren sehr hoch (> 500 % Zunahme der Sprossdichte nach 14 Monaten). Diese Wiederherstellungsmethode zeigte eine 2 bis 3,5-mal höhere Wachstumsrate und war 2 bis 2,5-mal schneller als im Sediment verankerte Triebe bzw. in Sedimentkerne verpflanzte Triebe und wird für flache Lebensräume in Schweden empfohlen.
In tieferen Lebensräumen (3,0 m bis 4,5 m) war das Wachstum aufgrund von Lichtmangel und hoher Wintersterblichkeit deutlich geringer (40 % Rückgang bis 50 % Zunahme). Bei der Wiederansiedlung mit Hilfe von Samen, die in Netzsäcken ausgebracht wurden, waren die Etablierungsraten der Sämlinge sehr niedrig (etwa 1 %), so dass diese Methode weniger kosteneffizient ist als die Verpflanzung einzelner Pflanzen.
- **Muscheln** fördern das Wachstum von Seegras.¹⁶
- Ein **Pflanzabstand von 20 cm bis 25 cm** hat einen positiven Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit und hält die anfängliche Mortalitätsrate gering. Die Verwendung von Saatgut auf der Lokation wird immer wieder als wenig erfolgreich beschrieben.⁸





VOM ANSATZ UND DEN ERGEBNISSEN

Das Entwicklungsvorhaben hat zum Ziel, ein validiertes technologisches Konzept zur Aufforstung von Seegraswiesen in der Ostsee zu erarbeiten, das sowohl aus ökologischen als auch aus betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten geeignet und akzeptabel ist.

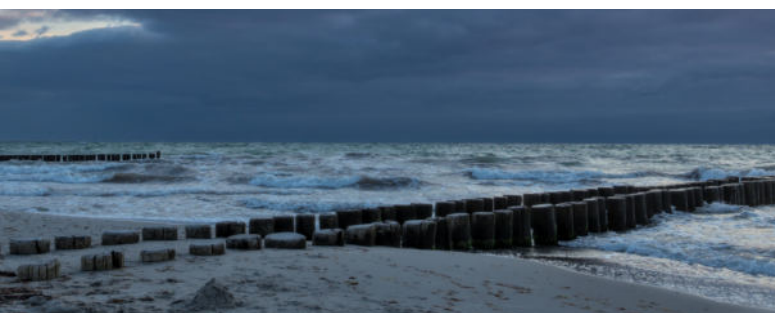
Die bisherige Aufforstungspraxis beruht im Wesentlichen auf einem manuellen Einsetzen einzelner adulter Pflanzen in den Meeresboden durch Taucher:innen. Diese Vorgehensweise ist mit manuellem Reisanbau in den Staaten Südostasiens vergleichbar. Sie ist mit hohem manuellen und zeitlichen Aufwand verbunden. Insofern sind zur Bepflanzung größerer Flächen andere Konzepte von Vorteil.

Hier setzt das Projekt an. Es orientiert sich an dem Rollrasenprinzip. Dieses sieht vor, dass das Seegras unter weitgehend kontrollierten Bedingungen auf textilen, kunststofffreien Aufwuchsträgern aufwächst. Die Pflanzen werden, sofern sie dann robust genug sind, gemeinsam mit dem Aufwuchsträger aufgerollt, im aufgerollten Zustand zum zuvor bestimmten Seegebiet transportiert und dort innerhalb kurzer Zeit unter Wasser ausgebracht. Die mit den Seegraspflanzen bewachsenen Aufwuchsträger werden mit Erdnägeln am Meeresboden fixiert. Zur Überwachung des Wachstumsfortschritts ist ein regelmäßiges Monitoring erforderlich.

Der technologische Ablauf des gesamten Prozesses lässt sich wie folgt grob in der nachfolgenden Struktur darstellen:

1. Entwurf und Herstellung geeigneter textilbasierter, kunststofffreier Aufwuchsträger, Details dazu auf [Seite 27](#),
2. Bepflanzung der Aufwuchsträger mit Seegraspflanzen bzw. Einbringen von Saatgut in die Aufwuchsträger, Details dazu auf [Seite 32](#),
3. Seegrasaufwuchs auf den Aufwuchsträgern unter kontrollierten Bedingungen,
4. Vorbereitung der bepflanzten Aufwuchsträger für den Transport,
5. Festlegung der zu bepflanzenden Flächen, hier speziell Lokationen in der Ostsee,
6. Ausbringung der bepflanzten Aufwuchsträger und deren Fixierung auf dem Meeresboden, Details dazu auf [Seite 41](#),
7. Wiederholtes Monitoring durch Forschertaucher oder mittels ferngesteuerter Unterwasserapparate (*ROV – Remotely Operated Vehicles*)

Es liegt auf der Hand, dass jeder dieser Schritte zwangsläufig mit vielschichtigen Aufgaben verbunden ist. Sie umfassen biologische, ingenieurwissenschaftliche, ökologische, gegebenenfalls auch rechtliche Fragestellungen.



ERGEBNISSE BEZÜGLICH DES AUFFORSTUNGSPRINZIPS

1. Es konnte im Rahmen von Labor- und Feldexperimenten in der südlichen Ostsee der Beweis erbracht werden, dass die **Aufforstung von Seegraswiesen nach dem Rollrasenprinzip mit Hilfe textiler, kunststofffreier Aufwuchsträger praktisch umsetzbar**, das heißt erfolversprechend ist.
2. Es konnte der Beweis erbracht werden, dass **lebende robuste Seegraspflanzen**, die aus Treibsel gewonnen werden, **für die Aufforstung** noch geeignet sind.
3. Eine ca. **vierwöchige Vorkultur der Pflanzen** unter kontrollierten Bedingungen ist eine notwendige Voraussetzung, damit diese in den jeweiligen Aufwuchsträger Wurzeln etablieren können. Letztes ist entscheidend für eine erfolgreiche Aufforstung. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Pflanzen im Meer durch Strömung oder Seegang rasch aus dem Aufwuchsträger herausgerissen werden. Die Aufwuchsträger sollten der Pflanze aber nicht zu viele Nährstoffe anbieten, damit sie bestrebt ist, weiter ins Sediment zu wachsen.
4. Das Ausbringen und Fixieren der vorkultivierten Aufwuchsträger auf dem Meeresboden durch Forschungs- oder Berufstaucher ist **unproblematisch**.
5. Die in Feldversuchen bei Wassertiefen von ca. sieben Metern erreichten Ergebnisse machten deutlich, dass die hier anzutreffende Lichtintensität dauerhaft für eine gesunde Entwicklung von neu angelegten Seegraswiesen unzureichend ist. Zukünftig sind **Wassertiefen im Bereich von 1 m bis 3 m** zu bevorzugen.⁶
6. Eine **Überwachung des Wachstums** einzelner Pflanzen im Meer durch kamerabestückte ROVs gestaltet sich gegenwärtig noch schwierig⁷, weshalb derartige Monitoringaufgaben mittelfristig noch durch fachlich einschlägig qualifizierte Taucher erfolgen sollte.
7. Insgesamt darf konstatiert werden, dass sowohl die weitgehend auf experimentellem Weg ermittelten Forschungsergebnisse als auch das im Projektzeitraum gewonnene Erfahrungswissen eine **Erweiterung des bisherigen Stands wissenschaftlicher Erkenntnis** und technologischer Praxis darstellen.

⁶ *Zostera marina* kommt gemäß der Studie von Schubert, Steinhardt, Schanz¹⁹ in Wassertiefen von < 1 m bis 16,6 m vor. Aus der zitierten Arbeit geht hervor, dass ca. 17 Prozent aller *Zostera marina*-Vorkommen in Wassertiefen zwischen 5 m und 8 m entdeckt wurden. Im Rahmen der Projektes konzentrierten sich die Arbeiten auf Wassertiefen um zumeist 7 m. Das führte auf Grund der vorliegenden statistischen Datenlage a priori nicht zu einem sachlichen Widerspruch. Dennoch muss beachtet werden, dass neben der zweifelsfrei notwendigen Lichtdichte / Lichtintensität und dem Lichtspektrum auch andere Einflussgrößen „passen müssen, wie beispielsweise hydrologische (Strömung und Seegang) und andere physikalische Parameter (z.B. Temperatur, gelöster Sauerstoff, Salinität) wie auch chemische (z.B. pH-Wert). Aus der Botanik ist bekannt, dass Pflanzen durchaus mit „Stress“ im Sinne von Abweichung vom Optimum umgehen können, wenn insbesondere die Anzahl der Stressfaktoren gering gehalten werden kann. Das heißt für die zukünftige Arbeit: Wenngleich die Richtigkeit des technologischen Konzepts durch das Projekt nachweisen werden konnte, heißt das nicht zwangsläufig, dass das Seegras unter allen Umständen anwachsen muss. So wurde im August 2022 die sich gut entwickelnde Wiese am Riff Nienhagen beispielsweise ein Opfer eines ungünstigen Sturmereignisses. Für kommenden Perioden empfehlen die Autoren deshalb, für die Aufforstung von Seegraswiesen sich auf solche Lokationen zu fokussieren, die offensichtlich optimale bzw. bessere Bedingungen liefern. Das sind insbesondere solche Lokationen, die als Seegrasgebiet bekannt sind. Inwiefern derartige Lokationen auch von zuständigen Ämtern als Ansiedlungsfelder tatsächlich freigegeben werden, muss im Einzelnen noch geklärt werden.

⁷ Die ROVs können aus Sicherheitsgründen mit ihren Kameras nicht nahe genug an das einzelne Blatt heranfahren. Wassereintrübungen insbesondere in den Sommermonaten machen den Einsatz von Teleobjektiven nahezu unmöglich.



ERGEBNISSE BEZÜGLICH DER AUFWUCHSTRÄGER

Nachdem Glück ⁵ unter Laborbedingungen den grundsätzlichen Beweis dafür erbrachte, dass Seegrassaatgut auf Aufwuchsträgern, die aus monofilen (einfädigen) Polyamid-basierten Fasern bestehen, ebenso gut keimt wie auf sandigem Meeresboden, wurden aus dieser Erkenntnis weitergehende Untersuchungen mit folgenden Ergebnissen durchgeführt:

1. Eine Substitution des bisherigen, aus Polyamiden gefertigten Trägermaterials durch einheimische, für den Entwicklungsprozess von Seegraspflanzen geeignete Naturstoffe ist möglich und sinnvoll,
2. Das im Rahmen von Labor- und Feldexperimenten gewonnene Erfahrungswissen ermöglicht bereits heute, zielführende Entscheidungen über den optimalen Aufbau von Aufwuchsträgern unter dem Aspekt Funktionalität, Verfügbarkeit und Anwendbarkeit zu treffen.
3. Es liegen Erfahrungen bezüglich einer kostengünstigen Fertigung und Bereitstellung textiler, kunststofffreier Aufwuchsträger vor.

Punkt 1 wurde neben der notwendigen Verträglichkeit insbesondere unter dem Aspekt kurzer Beschaffungswege und regelmäßiger Verfügbarkeit betrachtet und analysiert. Aus derzeitiger Sicht kommen deshalb insbesondere **nachwachsende Rohstoffe aus der regionalen Landwirtschaft** oder Seegrass in Form von Treibsel in Betracht.

Im Fokus des Punktes 2 standen insbesondere solche Fragestellungen, die sich mit der technologischen Eignung der unter Punkt 1 identifizierten Naturstoffe als materielle Basis der Aufwuchsträger befassten. So war u.a. zu klären, ob die jeweilig untersuchten Aufwuchsträger-Konstruktionen für eine maschinenunterstützte oder eher eine manuelle Bepflanzung bzw. Einsaat geeignet sind. Ebenso war beispielsweise zu klären, ob einzelne Konstruktionen überhaupt die erforderlichen mechanische Eigenschaften insbesondere unter Feldbedingungen über einen definierten Zeitraum aufbringen.

Gleichzeitig konnte festgestellt werden, dass die Geometrie der Aufwuchsträger einen Wasser- und somit auch einen Gasaustausch zwischen Sediment und Wasserkörper zulassen muss, um die Bildung toxischer Schwefel-Wasserstoff-Verbindungen zwischen Sediment und Aufwuchsträger zu verhindern.

Die Marktreife einer neuen Technologie definiert sich insbesondere auch über die Kosten und die Verfügbarkeit der ihr zugrundeliegenden Materialien (Punkt 3). In diesem Kontext wurden die in der Textilindustrie einschlägig bekannten Herstellungsverfahren auf de-

ren Verwendbarkeit hinsichtlich der Herstellung verschiedener Aufwuchsträger-Konstruktionen analysiert und im Rahmen von unterschiedlichen Testproduktionen geprüft.

Für die Aufforstung sind 20 vorkultivierte Pflanzen je Quadratmeter Aufwuchsträger als kalkulatorische Größe anzusetzen. Gegenwärtig werden diese noch manuell aus Treibsel nach Starkwindereignissen vom Strand gewonnen. Das heißt, es besteht zudem noch eine erhebliche jahreszeitliche Abhängigkeit in der Bereitstellung geeigneter Pflanzen.

Zur Beurteilung des zu erwartenden betriebswirtschaftlichen Ergebnis gehören insbesondere auch die Berücksichtigung der Kosten für Schiffs- und Tauchereinsätze. Auch hier liegen inzwischen entsprechende Erfahrungen vor.

Fazit

Es ist gelungen, aus verschiedenen Ausgangsmaterialien unterschiedliche Aufwuchsträger-Konstruktionen herzustellen und diese mit manuell eingesetzten Seegraspflanzen zu bestücken. Die manuelle Bestückung erfolgte im Rahmen des Projekts weitgehend durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter einer geschützten Werkstatt in Rostock. Bisherige Ergebnisse aus Felduntersuchungen zeigen erwartungsgemäß, dass unterschiedliche Materialien durchaus zu unterschiedlichen Ergebnissen beispielsweise bezüglich der Aufrechterhaltung einer notwendigen Festigkeit führen können. Eine maschinenunterstützte oder auch automatisierte Saatguteinbringung während der Herstellung des Aufwuchsträgers oder nach dessen Fertigung ist von Interesse. Es liegen erste Ideen zur Umsetzung bereits vor. Jedoch ist die automatisierte Saatguteinbringung nicht Gegenstand des Projekts und würde den zeitlichen und finanziellen Projektraum sprengen.

Für die Beurteilung der betriebswirtschaftlichen Kalkulation wurde ein firmeneigener Algorithmus auf Excel-Basis entwickelt. Er ermöglicht die Identifikation kostenintensiver Positionen im gesamten Aufforstungsvorhaben. Diese sind auch die Basis für zukünftige Entwicklungsarbeiten.



AUSBLICK, ZUKÜNFTIGE AUFGABEN

Mittelfristiges Ziel ist es, mit dieser Technologie einen solchen technologischen Stand zu erreichen, damit sie auch als **Ausgleichsmaßnahme für meerestechnische Baumaßnahmen**, wie z.B. Installation von Onshore-Windparks, Kabeltrassen, Pipelines, etc. Anwendung finden kann. Das setzt u.a. voraus, dass

1. ausreichend große Meeresareale im Flachwasserbereich für Aufforstungszwecke durch zuständige Behörden freigegeben werden und
2. vorkultivierte Aufwuchsträger rechtzeitig und in ausreichender Menge verfügbar sind.

Punkt 1 setzt eine in Zukunft intensivere Zusammenarbeit mit der Landespolitik und zuständigen Behörden und Ämter voraus.

Um die im Rahmen des Projekts erfolgreich validierte Methode zur Aufforstung von Seegraswiesen nach dem Rollrasenprinzip mittels textiler, kunststofffreier Aufwuchsträger erfolgreich und zuverlässig am Markt etablieren zu können, ist die Vorkultur als technologisches „Nadelöhr“ konzeptionell zu verändern. Das bezieht sich sowohl auf die zeitliche Verfügbarkeit als auf den derzeitigen manuellen Herstellungsaufwand von Vorkulturen.

Als eine dringende, zeitlich rasch zu lösende Aufgabe sehen die Autoren deshalb den Aufbau und den **Betrieb einer Aquakultur zur Zucht von Seegraspflanzen und -saatgut** an, um zukünftig stets ausreichend Pflanzen und möglichst auch Saatgut verfügbar zu haben und unabhängig von Wetterereignissen zu sein. Hierbei ist auch die Aufgabe zu lösen, die Vorkultur als Teilprozess in die Aquakultur zu integrieren. 🍀





ANHANG



HERSTELLUNG DER AUFWUCHSTRÄGER

Während in Voruntersuchungen zum Projekt noch Aufwuchsträger getestet wurden, die aus synthetischen Polymeren bestanden (*Glück 5*), so wird im Rahmen des Projektes ausschließlich mit textilbasierten, kunststoff-freien Aufwuchsträgern experimentiert.

Mit dem Einsatz kunststofffreier textiler Materialien wird nicht nur der Eintrag potenzieller Mikroplaste in die marine Umwelt verhindert, die chemisch unbehandelten Naturstoffe gewährleisten auch einen umweltneutralen und rückstandslosen Abbau der Aufwuchsträger in überschaubar kurzen Zeiträumen. Experimentiert wurde bisher mit solchen Naturstoffen, die in der Region anzutreffen sind. Dazu gehören insbesondere:

- als **Treibsel** (Strandgut) angespültes und getrocknetes Seegras,
- **Hanffasern**, die nach der Ernte im regionalen Hanfanbau anfallen und aufgrund ihrer Eigenschaften für eine Weiterverarbeitung in der Textilindustrie wenig nachgefragt sind,
- **Flachsfasern** sowie
- aus heimischen Hölzern hergestellte **Viskosefasern**.⁸

⁸ Der regionale Bezug bei der Auswahl der Ausgangsmaterialien ist für das Projekt bedeutsam. Ein regionaler Verbund ermöglicht nicht nur kurze Transportwege zwischen Zulieferern und Verarbeitern; er gewährleistet auch ein höheres Maß an Versorgungssicherheit für die Verarbeiter. Gleichzeitig entsteht für beide Seiten in der Region eine WIN-WIN-Situation.

Abbildung 1

Prinzipieller Aufbau der entwickelten strangartigen Strukturen

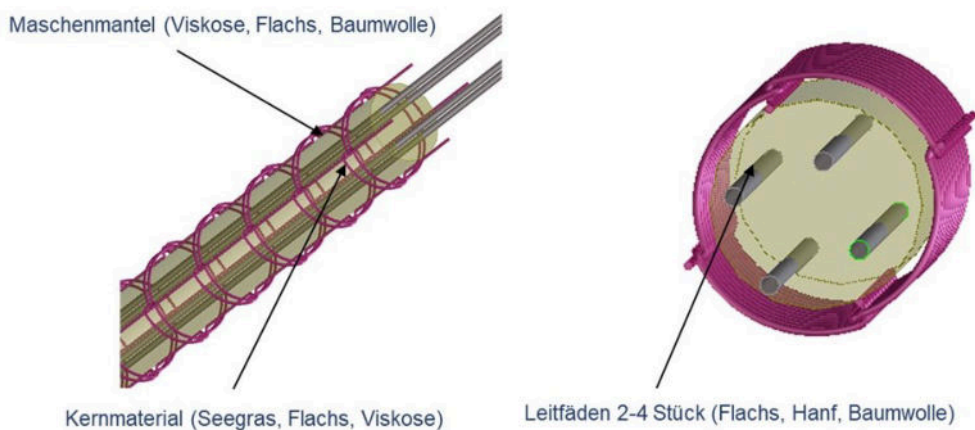


Abbildung 2

Aus Hanf gefertigter Strang. Der weitgehend parallele Verlauf der Hanffasern ist deutlich sichtbar. Ebenso sind ein Leitfaden links im Bild sowie der Maschenmantel zu erkennen.



Abbildung 3

Aus getrocknetem Seegrass gefertigter Strang. Die Schenkellängen des Maschenmantels sind in Bezug auf den Strangdurchmesser kleiner.



Auf die Anwendung weiterer Fasern aus hiesiger Produktion, wie beispielsweise Stroh und Heu, wurde bisher verzichtet. Gleiches gilt für Baumwolle, Kokosfasern, Sisal und andere Fasern, die in dieser Region nicht heimisch sind. In Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern wurden aus den oben genannten Ausgangsstoffen Aufwuchsträger mit konstruktiv unterschiedlichem Aufbau entwickelt, hergestellt und im Labor sowie im Feldversuch getestet. Die entwickelten Aufwuchsträger lassen sich hinsichtlich seines konstruktiven Aufbaus in folgende Strukturen unterteilen:

- strangartige,
- gitterartige,
- netzartige sowie
- vollflächige, vliesstoffartige.

Während die gitter- und netzartigen Strukturen auf Konstruktionen aus seil- oder strangartigen Halbzeugen, die mit Maschenfäden verbunden werden (Wirktechnologie), zurückzuführen sind, ist die Herstellung von Vliesen andersartig. Das schließt jedoch nicht aus, dass aus Vliesstoff hergestellte Elemente in gitter- und netzartige Strukturen integriert werden können.

Aufbau strangartiger Strukturen

Der prinzipielle Aufbau der entwickelten strangartigen Strukturen ist der [Abbildung 1](#) zu entnehmen. Die einzelnen Stränge bestehen aus dem Maschenmantel, dem Kernmaterial sowie den integrierten Leitfäden.

Die Fasern, die das Kernmaterial bilden, werden zusammen mit 2-4 Leitfäden zu einem Strang gebündelt und anschließend mit einem weiteren Faden umstrickt, so dass dieser den zuvor gebildeten Strang (Kernmaterial) umschließt. Die Leitfäden sind sowohl für den Herstellungsprozess als auch als Zugentlastungselemente des Strangs im späteren Einsatz relevant.

Die das Kernmaterial bildenden Fasern werden zuvor möglichst parallel zueinander ausgerichtet, um die Zugfestigkeit⁹ der so gebildeten Struktur zu erhöhen und deren Dehnbarkeit zu verringern.

Die durchgeführten Versuche machten allerdings sichtbar, dass sich die verschiedenen Fasermaterialien unterschiedlich gut zueinander parallel ausrichten lassen. Während Hanf und Flachs sich diesbezüglich recht gut ausrichten lassen (siehe [Abbildung 2](#)), kann man das bei getrocknetem Seegras nicht feststellen.

Die Blätter von lebendem Seegras weisen noch einen glatten Faserverlauf auf. Die Struktur von getrocknetem Seegras ist mit der von zerknittertem Lametta vergleichbar. Das hat zur Folge, dass aus trockenem Seegras gefertigte Stränge eine geringere Packungsdichte aufweisen und demzufolge lockere Strukturen bilden. Letztes kann dazu führen, dass die so gefertigten Stränge deutlich größere Durchmesser bei engeren Maschen des Mantels aufweisen im Vergleich zu Hanf- oder Flachsfasern, siehe [Abbildung 3](#). Inwieweit sich dieser Umstand förderlich oder weniger positiv auf den praktischen Gebrauch des jeweiligen Aufwuchsträgermaterials auswirkt, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht geklärt.



⁹ Eine höhere Zugfestigkeit ist sowohl bei der Ausbringung und der Befestigung der Aufwuchsträger auf dem Gewässerboden von Vorteil als auch in der Phase des Wurzelwachstums der jungen Seegraspflanzen in das Sediment.

Aufbau gitterartiger Strukturen

Gitterstrukturen dienen der effizienten Verlegung großer Flächen auf dem Gewässerboden nach dem Rollrasenprinzip. Der prinzipielle Aufbau der im Rahmen des Projekts entwickelten textilen gitterartigen Strukturen ist der [Abbildung 4](#) erkennbar. Er besteht im Wesentlichen aus der Kette bzw. dem Maschenfaden und dem Schussfaden. Als Schussfaden dienen die im vorangegangenen Abschnitt erläuterten strangartigen Strukturen.

Die Anzahl der aus gewirkten, quasi unendlich langen Einzelfäden hergestellten Ketten, das Fertigungsverfahren ist als *Rascheltechnik* bekannt, sowie der Abstand der beiden äußeren Ketten zueinander sind ausschlaggebend für die (innere) Festigkeit und die (geometrische) Breite des herzustellenden Aufwuchsträgers. Da die Kette nahezu beliebig lang sein kann, ist eine Fertigung der Aufwuchsträger mit quasi beliebiger Länge möglich. Die Kette besteht im Vergleich zum Schussfaden aus wesentlich weniger Material und besitzt demzufolge auch eine entsprechend geringere Masse.

Als Schussfaden dienen die strangartigen Strukturen, die oben beschrieben wurden. Diese strangartigen Strukturen können bereits vor ihrer Weiterverarbeitung zu Gitterstrukturen mit Saatgut beimpft oder nach der Gitterherstellung beimpft bzw. mit jungem Seegras bepflanzt werden.

Bei diesem Konstruktionskonzept kann der lineare Abstand zwischen zwei benachbarten, parallel verlaufenden Schussfäden beliebig variiert werden. Das heißt, der Abstand zwischen zwei benachbarten Schussfäden kann zwischen Null bis beliebig viele Strangdurchmesser betragen, siehe [Abbildung 5](#).

Da eine einzelne Seegraspflanze unter optimalen Bedingungen bereits in kurzer Zeit Rhizome bildet und sich dementsprechend rasch ausbreiten kann, ist es zweckmäßig, diesen Aspekt bereits bei der Bepflanzung des Aufwuchsträgers zu berücksichtigen und entsprechende Pflanzabstände vorzusehen. Im Interesse eines sparsamen Materialverbrauchs heißt das, dass man die Abstände zwi-

schen benachbarten Schussfäden zweckmäßigerweise nach sinnvollen Pflanzabständen bei der Aufforstung von Seegras wählen sollte.

Wird Material mit deutlich engeren Abständen zwischen benachbarten Schussfäden als für Aufforstungszwecke erforderlich gewählt, so führt das auch zu einem anfänglich höheren Eintrag von organischen Stoffen, die zwar umweltgerecht aber dennoch abgebaut werden müssen.

Aufbau netzartiger Strukturen

Diese textile Konstruktion basiert auf dem Kettenwirkprinzip, bekannt zur Herstellung knotenloser Netzstrukturen. Dabei können RL- oder RR-Kettenwirkmaschinen zum Einsatz kommen. Anwendung finden derartige Strukturen im Bereich Sportnetze, Ladungssicherungsnetze, Fischereinetze, Geotextilien, textile Zäune usw.

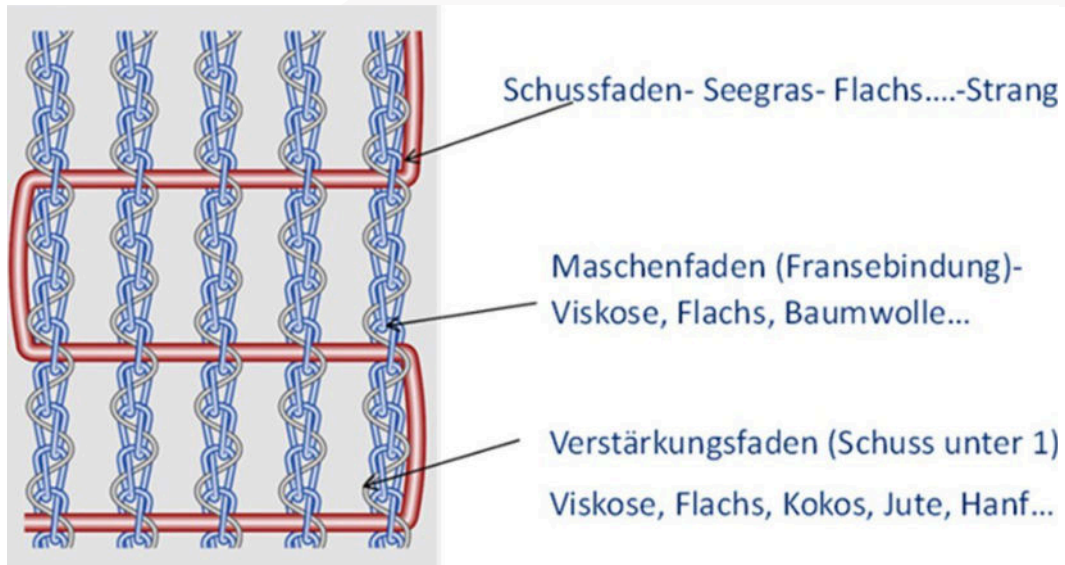
Die einzelnen farbig dargestellten Fäden zeigen den Fadenverlauf und die Maschenbildung auf der Wirkmaschine bei der Netzherstellung. Nach diesem Verfahren können Netzschenkellänge und Netzknotenlänge in bestimmten Grenzen variiert werden (elektronische Mustereinrichtung der Wirkmaschine), wodurch z.B. rhombische oder hexagonale Netzgeometrien entstehen. Der Ausstellwinkel der Netzstrukturen (breit ziehen der Netzschenkel z.B. 90°) entscheidet später über die Geometrie und Größe der Aufwuchsträger-Netzkonstruktion. Netzstrukturen passen sich sehr gut an den Untergrund an und sind gut drapierbar.

Aufbau von Vliesstoffen

Vliesstoffe aus synthetischen Materialien oder Naturfasern finden in der Landwirtschaft, im Geotextilbereich, im Wasserbau, als Hygieneartikel usw. seit vielen Jahren Anwendung. Die Anlagen sind sehr leistungsfähig, sodass Faser- oder Spinnvliesstoffe effizient und kostengünstig in großen Breiten und Längen hergestellt werden können. Im Rahmen des Projektes stehen mechanisch verfestigte Naturfaservliesstoffe aber auch thermisch verfestigte Kombinationen aus Naturfasern und Biopoly-

Abbildung 4

Grundaufbau der im Projekt entwickelten gitterartigen textilen Strukturen. Die Hauptelemente sind die Kette bzw. der Maschenfaden, im Bild senkrecht angeordnet, sowie der aus dem Strang gebildete Schussfaden.



meren im Fokus. Beide sind zu 100 Prozent biologisch abbaubar. Im Rahmen der Versuchsmusterherstellung wurden die Vliesstoffbahnen zunächst in Längsstreifen geschnitten (erfolgt direkt am Warenabzug der Maschine), welche in nachfolgenden Arbeits-

gängen mit oben benannten Technologien zu strangartigen (KEMAFIL-Technologie) oder in einem zweiten Arbeitsschritt weiter zu gitter- oder netzartigen Strukturen (Wirkmaschine) verarbeitet werden. ●

**Abbildung 5**

Vergleich zwischen zwei gitterartigen Strukturen, die zwar aus den gleichen Ausgangsmaterialien bestehen (Kette ist aus Viskose, Schussfaden ist aus Hanf hergestellt), aber unterschiedliche Abstände zwischen benachbarten Schussfäden aufweisen.



ANHANG



BEPFLANZUNG DER AUFWUCHSTRÄGER

Die Bepflanzung der Aufwuchsträger mit Treibsel erfolgte grundsätzlich in Handarbeit. Diese Tätigkeit wurde nahezu ausschließlich von Beschäftigten einer geschützten Werkstatt des Michaelwerks in Rostock ausgeführt. Ziel war es, die Wurzeln der Seegraspflanzen schonend in die Aufwuchsträger einzuführen.

Bei den strangartigen Strukturen gemäß [Abbildungen 2 und 3](#) wurde bisher auf eine Sicherung etwa durch zusätzliche Garnumwicklung (Garnbindung) verzichtet, siehe [Abbildung 6](#), was sich bei der Verwendung von getrocknetem Seegrass als weniger günstig herausstellte. Bei der Anwendung von Vliesstoffstreifen wurden die einzelnen Pflanzen zusätzlich durch Garnbindungen gesichert.

Eine der wesentlichen Projektaufgaben bestand darin, die Entwicklung der Seegraspflanzen auf den vorbereiteten Aufwuchsträgern über einen längeren Zeitraum zu beob-

achten und dabei zweckdienliche Messungen anzustellen.

In Anbetracht der jahreszeitlichen Bedingungen wurden zur Durchführung dieser Arbeiten Gewächshauskapazitäten bei dem in Rostock angesiedelten *Blumenfachgeschäft und Gärtnerei Block e.Kfm.*¹⁰ für den Zeitraum vom 24. Januar 2022 bis zum 13. April 2022 gemietet.

Für die Durchführung der Arbeiten sind mit Meerwasser betriebene Becken bzw. Gerinne erforderlich. Die Beschaffungskosten für so genannte Langstrombecken, die für diese Untersuchungen besonders geeignet wären,

liegen 6.000 Euro¹¹ zuzüglich Transportkosten. Auf Grund der absehbaren kurzen Gebrauchsdauer entschieden sich die Projektbearbeiter für eine bedeutend kostengünstigere Variante. Sie stellten die erforderlichen Becken selbst her. Aus preiswerten Baumarkt-Halbzügen, wie OSB-Platten, Dachlatten und Teichfolie, fertigten sie insgesamt drei Becken. Jedes dieser Becken hatte eine Länge von 4 m und eine Breite von 1,25 m. Diese Becken wurden bis zu einer Höhe von ca. 35 cm mit Wasser aus der Ostsee gefüllt. Damit stand eine Beckenfläche von 15 m² und ein

Wasservolumen von 5,25 m³ zur Verfügung. Jedes der Becken wurde mit Hilfe einer Aquariumpumpe gantzöglich belüftet. Die Pumpen waren jedoch nicht so leistungsfähig, um eine signifikante Strömung in den Becken zu erzeugen, was sich im Nachhinein als Mangel erwies. Das selbständige Schöpfen und der Transport der erforderlichen Seewassermenge mit eigenen Mitteln war nicht möglich. Daher wurde die Firma *Baltic Taucherei- und Bergungsbetrieb GmbH* in Rostock beauftragt, Ostseewasser zu schöpfen und anschließend die Testbecken damit zu füllen.

¹⁰ Wir danken dem Inhaber, Herrn Olaf Block, für die freundliche Unterstützung und für das Interesse, das er dem Projekt entgegenbrachte.

¹¹ Ein Anbieter aus der Region ist *SBS Bootsbau & Fischereitechnik GmbH* in Plau.



Abbildung 6

Bepflanzter Strang ohne zusätzliche Garnbindung, hier: Aufwuchsträger aus Seegrass

Die Verwendung von künstlich hergestelltem Meerwasser auf Basis von deionisiertem Wasser war für die Versuche unnötig, da die verwendeten Seegraspflanzen bereits als Treibsel mit Zoo- und Phytoplankton sowie mit weiteren organischen und anorganischen Stoffen *kontaminiert* waren. Hinzu kamen die bekannten hohen Herstellungskosten für die erforderliche Menge Meerwasser.

Für die Wintersaison 2022/2023 konnte beim *Rostocker Fracht- und Fischereihafen* eine kleine Kalthalle angemietet werden, um die notwendigen Arbeiten zur Vorkultur für das Frühjahr 2023 durchführen zu können. Die Vorteile dieses Standortes gegenüber der Lage des im Jahr zuvor genutzten Gewächshauses lag

- im unmittelbaren Zugang zum Wasser,
- in der Nähe des Liegeplatzes des Forschungskutters der Firma FIUM GmbH & Co. KG sowie
- in der Abgeschlossenheit der Räumlichkeit, so dass diese auch zeitweilig zur Unterbringung des gesamten Materials genutzt werden konnte.

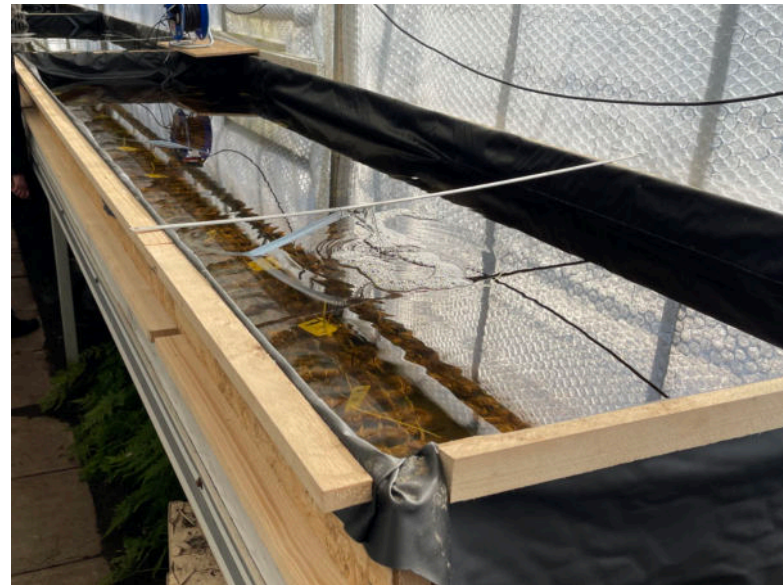
Der zweifelsfreie Nachteil dieser Immobilie bestand darin, dass die für die Vorkultur notwendige (natürliche) Helligkeit fehlte. Diese musste deshalb durch entsprechende künstliche Beleuchtung ausgeglichen werden. Hierzu wurden aus Projektmitteln erforderliche Lampen und Strahler beschafft.

Für die Vorkultur wurden die gleichen, durch das Projektteam hergestellten Becken

genutzt, die auch im Gewächshaus erfolgreich eingesetzt wurden. Auf Grund des verfügbaren Platzes wurde zusätzlich ein offenes Gerinne installiert. Dieses wurde anschließend für spezielle Untersuchungen werbewirksam im IGA-Park Rostock-Schmarl aufgestellt. Hier wurden erstmalig die mit einem Hersteller von Geo-Textilien entwickelten Aufwuchsträger in Form von Steppmatten eingesetzt, siehe [Abbildung 7](#). Biologische Untersuchungen wurden in der Kalthalle nicht durchgeführt.

Mess- und Beobachtungsmethoden

Zu Beginn des Experimentes wurden ca. 2.000 Pflanzen in unterschiedliche Aufwuchsträger eingebracht. Diese wurden in insgesamt drei Becken in einem Gewächshaus bei 3 - 8 °C kultiviert bei Habitatswasser (aus der Ostsee vor Rostock) und einer Wassertiefe von 30 cm.



Laborbecken mit Aufwuchsträger und lebendigen Seegraspflanzen

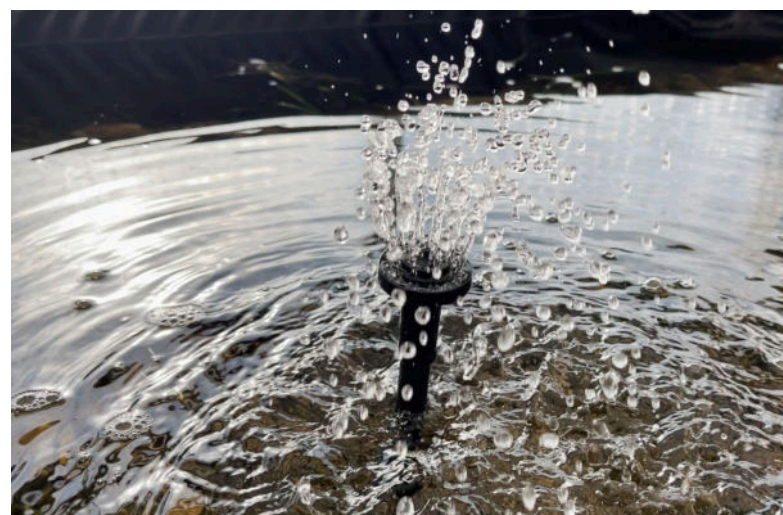


Abbildung 7

Mit Pflanzen bestückte steppmattenartige Aufwuchsträger, hier Seegrass als Grundmaterial.



Von den Pflanzen wurden ca. 5 % markiert und mit individuellen Kennzeichnungen versehen. Diese 5 % dienten der Untersuchungen von Blattwachstum und Überlebensrate unter den jeweiligen Bedingungen.

In allen Becken wurden hanfbasierte Aufwuchsträger eingebracht, daher gibt es drei Replikate von jeweils 23 Pflanzen. Das Seegrasssubstrat war nur ausreichend für ein Replikat. Die Überlebensrate der Pflanzen war unterschiedlich, je nach Becken und Substrat. Die höchste Rate hatte ein Becken mit Hanfsubstrat. Eine ähnlich hohe Rate hatte das Seegrass-Substrat ([Abbildung 8](#)).

Mehr als 70 % der Pflanzen überlebten die 7 Wochen Kultivierung. Bei den anderen Becken waren die Verluste höher, generell gab es aber eine annähernd lineare Abnahme der überlebenden Pflanzen.

Die Gründe für die Verluste sind offensichtlich vielfältig. Besonderen Einfluss werden sicherlich der Stress, den die Pflanzen als Treibgut erfahren mussten, sowie die mangelnde Wasserbewegung in den Becken sein. Zukünftig muss bei der als notwendig erachteten Kul-

tivierung ein höherer technischer Aufwand betrieben werden.

Neben der Überlebensrate wurden Blattlänge und Blattzahl der markierten Pflanzen jede Woche überprüft ([Abbildung 9](#)). Beide Parameter nahmen im Laufe des Experimentes zu.

Die Blattlänge der regelmäßig überprüften Seegrass-Pflanzen nahm im Laufe des Experimentes um ca. 10 cm zu. Diese Zunahme ist ein positives Zeichen und deutet darauf hin, dass die Pflanzen unter den Bedingungen im Gewächshaus wachsen können. Das stagnierende Wachstum von Woche 0 bis Woche 3 deutet auf eine Eingewöhnungszeit hin.

Auch die Blattzahl pro Pflanze stieg im Laufe des Experimentes. In einigen Fällen gab es eine Verdopplung der Blattzahl. Ein weiteres Indiz für die erfolgreiche Kultivierung von Seegrass unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus waren die Ausbildung von Blüten und Samenansätzen der Pflanzen. Diese konnten in allen Becken beobachtet werden, siehe [Abbildung 10](#).

Generell lassen sich folgende Ergebnisse aus den Gewächshausversuchen festzustellen:

- Die Pflanzen haben den Aufwuchs-Prozess gut überstanden. Ein Großteil der Pflanzen überlebte und konnte in den Becken anwachsen.
- Die Bepflanzung der entwickelten Aufwuchsträger mit Seegras ist möglich.
- Über die optimale Dauer der Kultivierung in den Becken herrscht noch Unklarheit. Sofern der technische Aufwand gering gehalten wird und die Umgebungsbedingungen von noch ausreichender Qualität sind, sollte die Zeit der Hälterung kürzer als bisher sein.

Sofern die Umgebungsbedingungen infolge vermehrter Wasserbewegung und noch intensiverer Beleuchtung verbessert werden¹², erscheint eine längere Dauer der Kultivierung möglich und im Sinne der Anwendung des Rollrasenprinzips auch sinnvoll. 🌱

¹² Diese beiden Parameter konnten nicht gemessen werden und erfordern daher eine kritischere Kontrolle.

Abbildung 8

Überlebensrate der Pflanzen auf den Aufwuchsträgern

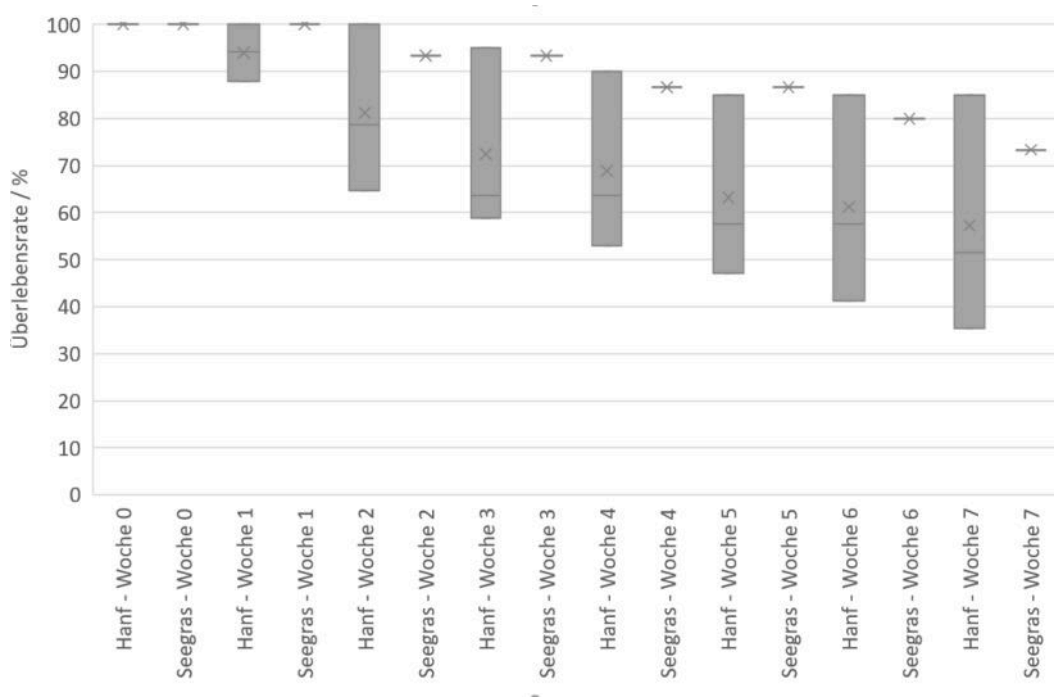


Abbildung 9

Blattlänge (in cm) und Blattzahl der Pflanzen auf den Aufwuchsträgern

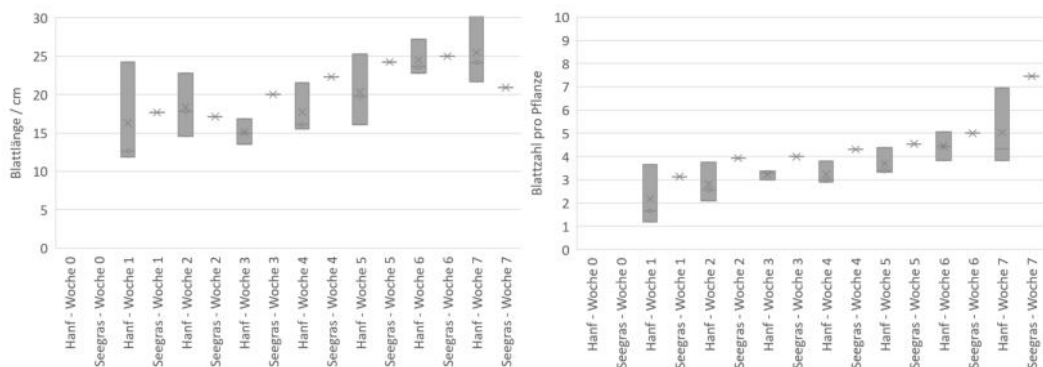
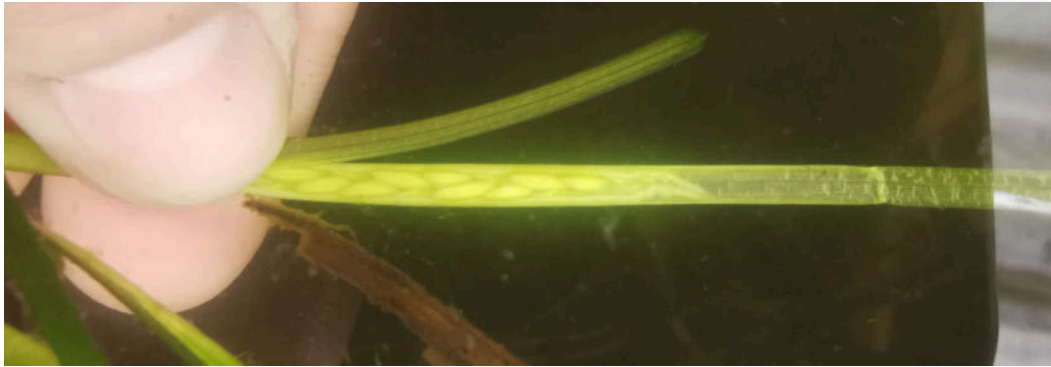


Abbildung 10

Samenansätze einer Seegras-Pflanze





ANHANG



IGA-PARK ROSTOCK TESTS AM OFFENEN GERINNE

Zur Klärung spezieller Fragestellungen, die bei den Untersuchungen an den beiden Riffen weniger gut geeignet waren, wurde das Angebot der Geschäftsführung der Museumspark Rostock GmbH genutzt, im Zeitraum Mai bis Oktober 2023 ein offenes Gerinne im Niederländischen Pavillon des IGA-Parks aufzustellen.

Mit diesem Experiment konnten folgende Ziele erreicht werden:

- Durchführung spezieller Beobachtungen zum Wachstumsverhalten der Pflanzen auf verschiedenen Aufwuchsträgern und bei unterschiedlicher Art und Weise der Bepflanzung in zeitnahen Abständen;
- Nutzung der unmittelbaren Nähe zur Warnow, wodurch der regelmäßige Austausch von Wasser im Becken weniger Aufwand erforderte;
- Gewinnung eines in der Region ansässigen Labors für die Durchführung von kostengünstigen Wassertests;
- Werbung für das Projekt – auch durch Anbringung einer entsprechenden Werbetafel.



Die Feldversuche machten ein zum Teil differenziertes Pflanzenwachstum auf verschiedenartigen Aufwuchsträgern erkennbar. Deshalb war es zweckmäßig, das ohnehin vorhandene Gerinne für weitergehende Experimente zu nutzen.

Dazu wurden in Geometrie und Material verschiedene Aufwuchsträger mit noch robusten, aus Treibsel gewonnenen Seegraspflanzen manuell bepflanzt. Im Detail kamen gitter-, matten- und vliesartige Aufwuchsträger zur Anwendung. Die beiden erstgenannten waren aus Seegras und Hanf gefertigt. Der Vliesstoff bestand aus einem Hanf-Flachs-Gemisch. Die Maschenfäden aus Hanf oder Viskose bestanden zumeist aus Hanfgarn und einem Garn aus Holz-Viskose.

Anfänglich wurde zudem gewaschener Putzkies (Baumarktprodukt) mit einer Korngröße bis zu 2 mm als Sediment verwendet.

frage kommen. Sie behindern offensichtlich einen Wasser- und somit auch Gasaustausch zwischen Sediment und Wasserkörper. In der Folge kam es zwischen einzelnen Aufwuchsträgern und dem Sediment zur Bildung toxischer Schwefel-Wasserstoff-Verbindungen.

Da das Wasser über den gesamten Versuchszeitraum hinweg durch zwei kleine Strömungsgeneratoren (ummantelte Propeller), wie sie in großen Meeresaquarien eingesetzt werden, bewegt wurde, konnten diese Gase aus dem darüber liegenden Wasserkörper entweichen und konnten somit nicht gemessen werden, wie aus den Daten der [Abbildung 10](#) hervorgeht.

Ebenso interessant war die Beobachtung, dass die zur Herstellung der Aufwuchsträger erforderlichen Maschenfäden am Ende der Untersuchungen im Oktober 2023, das heißt, nach ca. fünf Monaten weitgehend biologisch

Abbildung 10
Daten der Laboruntersuchungen zum Wasserkörper im offenen Gerinne

Parameter	Tag der Messung		
	05.07.2023	17.07.2023	30.08.2023
Wassertemperatur [°C]	16,7	18,9	16,0
Sauerstoffkonzentration [mg l ⁻¹]	9,36	6,72	6,76
Sauerstoffsättigung [%]	99,9	78,3	74,4
Elektrische Leitfähigkeit [mS cm ⁻¹]	14,000	22,432	19,993
pH [-]	8,28	7,61	7,51
Redoxpotential	141,4	171,6	140,9
Ammonium [mg l ⁻¹]	0,160	0,180	0,100
Salinität [PSU]	7,86	12,84	11,26
Hinweis: Die elektrische Leitfähigkeit von Meerwasser beträgt 56 mS cm ⁻¹			

Der Kies diente dem Zweck, das Einwachsen der Pflanzenwurzeln in das Sediment zu beobachten.

Im Ergebnis dieser Beobachtungen konnte festgestellt werden, dass dichte, flächendeckende Aufwuchsträger, hier insbesondere Vliese, für zukünftige Anwendungen nicht in-

abgebaut waren. Das heißt natürlich auch, dass die Pflanzen zu diesem Zeitpunkt schon fest im Meeresboden verankert sein müssen.

In einer zweiten Versuchsreihe wurden vergleichende Analysen zum Pflanzenwachstum bei gleichartigen Aufwuchsträgern aber unterschiedlicher Weise der Bepflanzung an-

Abbildung 12

Manuell eingesetzte (l.) und während des Herstellungsprozesses „eingewebte“ Pflanzen (r.)



gestellt. Hier wurden zum einen Pflanzen wie bisher manuell eingepflanzt und zum anderen bereits während des Herstellungsprozesses des Aufwuchsträgers mit eingewebt, siehe [Abbildung 12](#). Ziel dieser Untersuchungen war es zu testen, ob der erhebliche Aufwand für eine manuelle Bepflanzung der Aufwuchsträger vermieden und bereits in den vorgelagerten Fertigungsprozess der Aufwuchsträger verlagert werden kann. Dieses Konzept ist

bisher leider noch nicht aufgegangen. Da die eingearbeiteten adulten Pflanzen beim Einarbeitungsvorgang teilweise beschädigt wurden und sich dadurch nicht in gewünschter Weise entwickelt haben, könnte eine weitere Möglichkeit die Einarbeitung von Rhizomen sein.

An diesem Konzept muss, so es keine weiteren technologischen Alternativen gibt, in der Zukunft noch gearbeitet werden. 🟢





ANHANG



INSTALLATION DER AUFWUCHSTRÄGER AUF SEE

Die Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern stellte eine Testfläche zum Ausbringen von bepflanzten Aufwuchsträgern im Bereich des künstlichen Riffs „Rosenort“ unentgeltlich zur Verfügung. Das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern entsprach dem Antrag auf Genehmigung eines Feldversuchs am künstlichen Riff Rosenort.

Die Lage des Riffs geht aus der [Abbildung 13](#) hervor. Es liegt etwa nordöstlich vom Seekanal Warnemünde. Für die Wahl dieses Standortes waren folgende Kriterien entscheidend:

- Das künstliche Riff Rosenort ist Teil eines Fischereischutzgebietes. Es finden hier keine fischereilichen Aktivitäten statt, die etwa Einfluss nehmen könnten auf das Versuchsergebnis (z.B. Schleppnetzfisherei).
- Die durchschnittliche Wassertiefe liegt zwischen 5 und 7,5 Metern. Damit ist eine für die Versuche ausreichende Lichtmenge am Meeresboden zu erwarten.
- Am Standort Rostock gibt es mindestens drei Einrichtungen bzw. Firmen, die sowohl über entsprechende Schiffskapazitäten verfügen als auch berufs- bzw. sachkundige Forschungstaucher beschäftigen und somit in der Lage sind, alle anstehenden Arbeiten auszuführen.
- Die geographische Nähe des Riffs zum Standort Rostock ermöglicht es, sowohl die Installationen als auch die erforderlichen Monitorings ressourcenschonend bzgl. Arbeitszeit und Aufwand für den jeweiligen Schiffstransfer durchführen zu können.

Neben dem Riff *Rosenort* wurde zeitweilig auch die Möglichkeit genutzt, einen zweiten Standort für die Installation der Seegras-Wiesen zu nutzen. Es handelte sich hierbei um den *Wieker Bodden*.

In Kooperation mit der Universität Rostock (Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Institut für Biowissenschaften, Abteilung Aquatische Ökologie) wurde eine bereits erteilte strom- und schiffahrtspolizeiliche Genehmigung für die **Errichtung einer Kultivierungsanlage für Makroalgen und Seegras in der Bundeswasserstraße Rügensch Bodden / Wieker Bodden südlich von Dranske** genutzt. Der *Wieker Bodden* erschien aufgrund seiner geringen Wasserstandsschwankungen und -strömungen gut geeignet, um unterschiedliche Materialien und Konstruktionsweisen von Aufwuchsträgern samt Seegras zu testen.

Die Salinität im Bodden ist vergleichbar mit der der Ostsee (ca. 10 PSU). Gleiches gilt für die Sedimentverhältnisse. Allerdings erwies sich die infolge erhöhter Trübung und Nährstoffbelastung resultierende geringere Lichtmenge als extrem hinderlich auf die Seegrasentwicklung aus, so dass erste Versuche im Frühjahr 2023 bereits vorzeitig abgebrochen werden mussten.

Das künstliche Riff vor *Nienhagen* schied wegen der dort anzutreffenden Wassertiefe von mehr als 10 Meter ursprünglich als Standort aus. In Absprache mit der FIUM GmbH & Co. KG wurden dann doch einige bepflanzte

Aufwuchsträger in Strandnähe bei ca. 7 Meter Wassertiefe ausgelegt.

Installation der Aufwuchsträger

Installationen wurden im Frühjahr und Sommer 2022 sowie im Frühjahr und Sommer 2023 vorgenommen. Die Arbeiten wurden jeweils von der Firma FIUM GmbH & Co. KG ausgeführt.

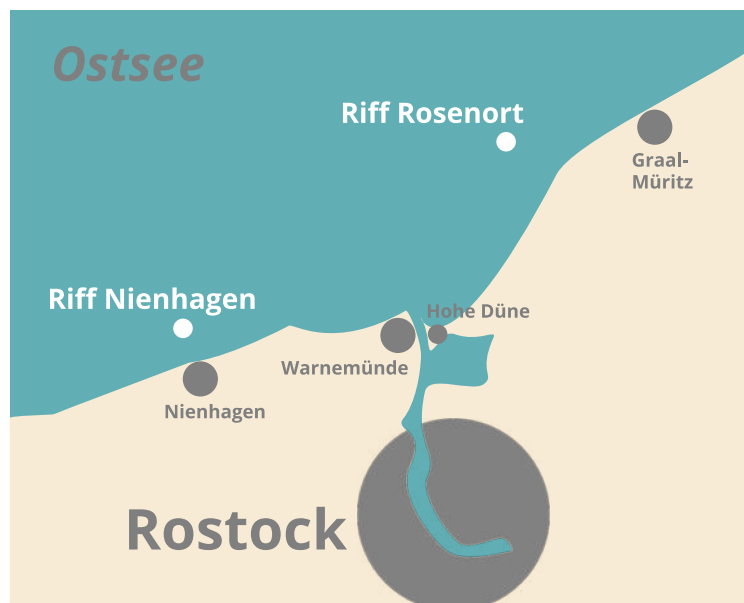
Die exakte Position der installierten Aufwuchsträger am Riff Rosenort war N 54°14.651', E 012°09.014'. Am Riff Nienhagen war die Position N 54° 10.184' und E 11° 56.895'.

Die unter kontrollierten Bedingungen vorkultivierten Aufwuchsträger wurden für den Transport und die nachfolgende Installation mäanderförmig in Bottichen mit kubischer Form verpackt und mit Seewasser feucht gehalten. Die Verlegung der Aufwuchsträger erfolgte jeweils durch Forschungstaucher:innen projektgemäß nach dem Rollrasenprinzip. Die Fixierung der Aufwuchsträger am Meeresboden erfolgte mit Hilfe von Bodennägeln – eine Technologie, die sich im Bereich des Erosionsschutzes als die beste erwies.

Der zu wählende Abstand der Bodennägel zueinander wurde auf Grundlage vorausgegangener Windkanaluntersuchungen abgeschätzt.¹³

Da die bodennahe Strömungsrichtung je nach Wetterlage stark variieren kann und einschlägige Erfahrungen zur Hydrologie am Riff weiter nicht vorlagen, entschieden sich die

Abbildung 13
Verortung der Riffe Nienhagen und Rosenort in der Ostsee im Einzugsbereich der Hansestadt Rostock



Projektbearbeiter bei der ersten Installation für eine fächerartige Anordnung der Aufwuchsträger. Durch diese Anordnung wurden insgesamt 24 m² Seeboden mit Aufwuchsträgern auf ca. 6 m Wassertiefe von Forschungstaucher:innen ausgebracht. Anschließend wurden Wasserproben für das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) genommen, um die hier vorhandene Vibrionen-Konzentration zu bestimmen. Gleichzeitig wurden Sedimentproben mittels Stechrohr entnommen, um bei späteren Vergleichen die Einwirkung der Seegraswurzeln auf den Meeresboden quantifizieren zu können.

Die zweite Installation war weniger umfangreich. Sie wurde erforderlich, um die bei einem Starkwindereignis Anfang August 2022 verloren gegangenen Aufwuchsträger samt Pflanzen zu ersetzen. Dieses Mal wurden die bekannten Aufwuchsträger aus Zeitmangel¹³ nur einen Tag vor der Installation mit Seegraspflanzen bestückt.

Auf Grund der inzwischen gewonnenen Erfahrungen bzgl. der vorherrschenden Hauptströmungen am Riff wurden die Aufwuchsträger bei den nachfolgenden Installationen in Ost-West-Richtung ausgelegt.

Ebenso gab es Veränderungen bzgl. der Installation der Aufwuchsträger selbst. Bei der Erstinstallation legten die Forschungstaucher:innen projektgemäß die bepflanzten Matten auf den Meeresboden und fixierten diese mit Erdnägeln, siehe [Abbildungen 15 und 14](#).

Bei den nachfolgenden Installationen schufen die Taucher:innen zuvor eine wenige Zentimeter tiefe Grube, in die sie die Aufwuchsträger hineinlegten und die Matten wiederum mit Erdnägeln fixierten. Abschließend wurden die Aufwuchsträger mit einer dünnen Sedimentschicht zugeschüttet. Durch diese

Maßnahme versprechen sich die Projektbearbeitenden einen besseren Schutz gegenüber der Meeresströmung.

Monitoring


Um den Erfolg der Methode und den Zustand der Pflanzen zu dokumentieren, wurden in regelmäßigen Abständen Kontroll-Ausfahrten zu der neu angelegten Seegraswiese durchgeführt. Diese umfassten eine visuelle Kontrolle der Pflanzen (Anzahl und Zustand der Blätter und Wurzeln) und der Aufwuchsträger. Des Weiteren wurden auch Lichtmessungen am Standort durchgeführt und Sediment- und Wasserproben genommen, um die Tauglichkeit des Ökosystems für die Experimente zu bestimmen. Sämtliche Arbeiten wurden von Forschungstaucher:innen durchgeführt.

Die Lichtmessungen ergaben eine durchschnittliche Lichtmenge von ca. 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Diese liegt über der Mindestmenge an Licht, die Seegras für das Wachstum benötigt.³ Die Sedimentanalyse ergab eine durchschnittliche Korngröße von 0,27 mm \pm 0,03 mm mit einem Sortierungsgrad von 0,44 \pm 0,24. Der Sand ist damit ein gut sortierter Mittelsand und geeignet für die Ansiedlung von Seegras.

Bereits nach dem ersten Monitoring-Termin war absehbar, dass Algenwachstum das größte Problem für die erfolgreiche Ansiedlung von Seegras sein könnte. An manchen Stellen war die Algendichte so hoch, dass diese die Seegräser bereits bedeckten. Ein solcher Algenaufwuchs stellt eine Bedrohung für die Seegräser dar, da unter diesen Umständen nicht genug Licht zu den Pflanzen gelangen kann.

Eine mögliche Erklärung für den starken Bewuchs ist unter ökologischen

Gesichtspunkten, dass die Aufwuchsträger ein Hartsubstrat darstellen, die in einem Ökosystem, welches von Weichsubstraten (Sand etc.) dominiert wird, eine der wenigen Anheftungsmöglichkeiten für Algen darstellen. Das Hartsubstrat wird daher innerhalb weniger Wochen vollständig besiedelt. Vor allem das Wachstum von fädigen Grünalgen ist dabei zu benennen, da diese unter den Lichtbedingungen vor Ort besonders profitieren. Eine Möglichkeit, dieses Algenwachstum in Zukunft zu vermeiden oder zumindest zu verringern, ist das manuelle Einsanden der Aufwuchsträger. Nach einem Bedecken des Hartsubstrates mit Sand, ist eine Anheftung der Algen nicht mehr möglich.

Der Zustand der Pflanzen kann nach den Monitoring-Ausfahrten als gut beschrieben werden. Nach mehreren Sturmereignissen, bei denen leider ein Teil der Pflanzen inklusive Aufwuchsträger verloren gingen, ist auch nach 6 Monaten noch Seegras am Standort verblieben. Dieses ist fest verwurzelt im Sediment und Substrat und bildet neue Blätter. Es sind noch keine lateralen Rhizome für eine vegetative Fortpflanzung zu erkennen, es ist allerdings davon auszugehen, dass diese bereits unterirdisch vorhanden sind. 

¹³ Wegen der fortgeschrittenen Jahreszeit mussten die Pflanzen so rasch wie möglich ersetzt werden.

Abbildung 14

Erdnagel aus Bewehrungsstahl

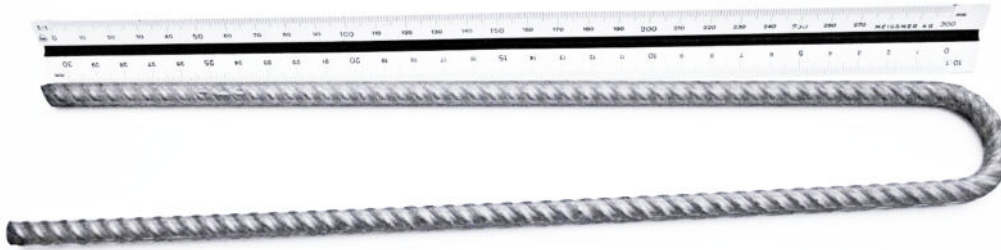


Abbildung 15

Bei der Erstinstallation lagen die Aufwuchsträger auf dem Meeresboden



AUSBLICK

Mathias

PASCHEN



Unter den Fachleuten besteht Konsens darüber, dass das Seegras eine von vielen notwendigen Maßnahmen zur Rettung der Kohlenstoffbilanz in Deutschland ist. Mit einem wirtschaftlich tragfähigen Konzept zur erfolgreichen Aufforstung von Seegras in der südlichen Ostsee werden wir sicher einen nachhaltigen Beitrag für Mecklenburg-Vorpommern und darüber hinaus leisten können. Wir können in Zukunft nicht nur zu Land, sondern auch zu Wasser Wiesen säen – mit messbarem Effekt fürs Klima.



SEEGRASWIESEN DANKSAGUNG

Die Autoren danken der **Stiftung Klima- und Umweltschutz Mecklenburg-Vorpommern** für die großzügige Förderung dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekts.

Frau **Christin Klinger** und Herrn **Dr. Sebastian Kalden** von der Stiftung sind wir für die stets vertrauensvolle Zusammenarbeit zu besonderem Dank verpflichtet.

Gleichermaßen danken wir den Mitgliedern des Projektbeirats Frau **Dr. Heike Illing-Günther** (Sächsisches Textilforschungsinstitut), Frau **Petra Mahnke** (Gesellschaft für Maritime Technik) und Herrn **Prof. Dr. Hendrik Schubert** (Universität Rostock) für ihre fruchtbare Unterstützung.

Frau **Dipl.-Ing. Andrea Schmidt** vom Staatlichen Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg danken wir für zahlreiche sachdienliche Hinweise während der Projektphase. Der Geschäftsführung des Museumsparks Rostock GmbH danken wir für die freundliche Unterstützung bei der zeitweiligen Aufstellung einer Versuchsanlage im IGA-Park Rostock-Schmarl. Namentlich erwähnen möchten wir Herrn Geschäftsführer **Oliver Fudickar** und Frau **Heike Merten**, Leiterin des Bereiches Umweltbildung.

In unseren Dank schließen wir all unsere hier nicht namentlich genannten Geschäftspartner mit ein, die am Gelingen des Projekts ihren wertvollen Anteil leisteten. ■



SEEGRASWIESEN LITERATUR

- 1** Baden, S.P.; Boström, C. (2001): The Leaf Canopy of Seagrass Beds: Faunal Community Structure and Function in a Salinity Gradient Along the Swedish Coast. In: Ecological Comparisons of Sedimentary Shores (S. 213-236) Edition: 151, Chapter: Ecological studies, Publisher: Springer Verlag, [DOI:10.1007/978-3-642-56557-1-11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-56557-1-11)
- 2** Bittick, S.(2019): Protecting Canada's hidden „meadows of the sea“. In: Canadian Geographic, <https://canadiangeographic.ca/articles/protecting-canadas-hidden-meadows-of-the-sea/>
- 3** Duarte, C.M.(1991): Seagrass depth limits. In: Aquatic Botany, Vol. 40, 1991, S. 363-377
- 4** Eriander, L. (2016): Restoration and management of eelgrass (*Zostera marina*) on the west coast of Sweden. Dissertation, University of Gothenburg, Department of Marine Sciences, Faculty of Science
- 5** Glück, D. (2020): Germination behavior of seagrass on artificial substrates. M.Sc.-Abschlussarbeit am Institut für Biowissenschaften der Universität Rostock.
- 6** Harbrecht, G. (2017): Untersuchungen zur Kolkbildung an Monopiles und zur Migration von Objekten am Meeresboden. B.Sc.-Thesis, Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Lehrstuhl Meerestechnik
- 7** Menzel, P.; Paschen, M. (2017): Kolkbildung und Kolkschutz an Monopile-Fundamenten. Lecture at the 112th Annual General Meeting der Schiffbautechnischen Gesellschaft in Potsdam in November 2017, publiziert in: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Vol. 111, S. 208-213
- 8** Meyer, T.; Nehring, S. (2006): Anpflanzung von Seegrasswiesen (*Zostera marina* L.) als interne Maßnahme zur Restaurierung der Ostsee. Rostocker Meeresbiologische Beiträge, Heft 15, S. 105-119
- 9** Moksnes, P.O.; Gipperth, L.; Eriander, L.; Laas, K.; Cole, S.; Infantes, E. (2016): Handbook for restoration of eelgrass in Sweden – National guideline. Swedish Agency for Marine and Water Management, Report number 2021:5
- 10** Oschlies, A.; Rehder, G.; Kopf, A.; Wallmann, U.; Zimmer, M. (2023): Gezielte Kohlendioxid-Entnahme – Welche Möglichkeiten meeresbasierte Verfahren bieten und wie diese erforscht werden. CDRmare Research Mission, [DOI 10.3289/CDRmare.27](https://doi.org/10.3289/CDRmare.27)
- 11** Paschen, M.; Wranik, H.: Beurteilung der Wirksamkeit technischer Maßnahmen zur Verhinderung von Kolkbildung an zylindrischen Gründungsstrukturen von Offshore-Bauwerken auf Grundlage numerischer und experimenteller Analysen. MariKom GmbH, Bericht zum F&E-Project „Scour protection“

- 12 Paschen, M.; Glück, D.; Helbig, R. (2023): A new technological approach for eel-grass reforestation based on textile plastic-free growing media. 16th International Black Sea Conference on marine Sciences and Technologies, October 2022, Varna, Bulgaria
- 13 Paschen, M. (2022): Studie zur Strömungsbelastung der Aufwuchsträger. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben vom 1. Juni 2022
- 14 Paschen, M.; Glück, D.; Helbig, R. (2023): A new technological approach for sustainable sea-grass reforestation using textile plastic-free growing media. In: S. Kosleck & K. Breddermann: Contributions on the Theory of Fishing Gears and Related Marine Systems, Vol. 12., Menzel-Verlag, ISBN 978-3-946694-06-9, S. 51-60
- 15 Reynolds, P.L. (2018): Seagrass and seagrass beds.
<https://ocean.si.edu/ocean-life/plants-algae/seagrass-and-seagrass-beds>
- 16 Reusch, T.B.H.; Chapman, A.R.O.; Gröger, J.P. (1994): Blue mussels *Mytilus edulis* do not interfere with eelgrass *Zostera marina* but fertilize shoot growth through biodeposition. In: MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES, Vol. 108: S. 265-282
- 17 Reusch, T.: Unterwasserwiesen im Klima-Labor speichern 30 Mal mehr CO₂ als die Tropen (Underwater meadows in the climate lab store 30 times more CO₂ than the tropics). Interview vom 7. Oktober 2021, abgedruckt in ntv
- 18 Reusch, T.B.H., Schubert, P.R., Marten, S.M. Gill, D., Karez, R., Busch, K., Hentschel, U. (2021): Lower *Vibrio* spp. abundances in *Zostera marina* leaf canopies suggest a novel ecosystem function for temperate seagrass beds. *Marine Biology*,
<https://doi.org/10.1007/s00227-021-03963-3>
- 19 Schubert, H.; Steinhardt, T.; Schanz, A. (2014): Monitoring Makrophytobenthos – Dokumentation von historischen und rezenten Seegrassvorkommen für die Bewertung nach WRRL und MSRL entlang der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns. Forschungsabschlussbericht im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Postfach 1338, 18263 Güstrow
- 20 Schubert, H.; Schygulla, C. (2016): Die Erfassung rezenter *Zostera*-Bestände und weiterer Makrophyten in den Küstengewässern MV (ZOSINF). Forschungsabschlussbericht, (LUNG 100G-30.15/16)
- 21 Strydom, S.; McCallum, R.; Lafratta, A.; Webster, C.L.; O'Dea, C.M.; Said, N.E.; Dunham, N.; Inostroza, K.; Salinas, C.; Billingham, S.; Phelps, C.M.; Campbell, C.; Gorham, C.; Bernasconi, R.; Frouws, A.M.; Werner, A.; Vitelli, F.; Puigcorb , V.; D'Cruz, A.; McMahon, K.M.; Robinson, J.; Huggett, M.J.; McNamara, S.; Hyndes, G.A. & Serrano, O. (2023): Global dataset on seagrass meadow structure, biomass and production. In: *Earth System Science Data*, 15, 511-519, 2023, <https://doi.org/10.5194/essd-15-511-2023>

SEEGRAS IN DER OSTSEE

WIE EINE AUFFORSTUNG GELINGEN UND WAS EINE ROLLRASENTECHNIK BEWIRKEN KANN

Was heißt es eigentlich, Seegraswiesen aufzuforsten? Was ist Seegras überhaupt? Welche Bedeutung nehmen diese Pflanzen für das Ökosystem in den Weltmeeren ein? Wie genau funktioniert die Rollrasentechnik unter Wasser? Diesen Fragen gehen wir in der vorliegenden Publikation nach. Sie besteht aus zwei Teilen: zunächst stellen wir Seegras vor, was das Besondere an dieser heimischen Pflanze ist, welche Effekte sie auf das Klima hat und wo deren Ökosystemleistungen liegen, und wie ihre Bedeutung für die Ostsee zu sehen ist. Der zweite Teil widmet sich der Perspektive auf unseren Ansatz von der „Aufforstung von Seegraswiesen“ – einem Kooperationsprojekt der Stiftung Klima- und Umweltschutz MV mit engagierten Fachleuten der Seegrasforschung. Sie zeigen ganz praktisch, wie Seegras nach dem Prinzip des Rollrasens in der Ostsee ausgebracht werden kann. Für mehr Klimaschutz, mehr Biodiversität und mehr Meeresschutz im Land.

AUTOR:INNEN

Prof. Dr.-Ing. Mathias Paschen

Mathias Paschen ist emeritierter Universitätsprofessor der Meerestechnik. Er leitete von 1992 bis 2019 den gleichnamigen Lehrstuhl an der Universität Rostock. Er kann auf 45-jährige Erfahrungen in der Planung, Bearbeitung und Leitung von öffentlich geförderten Einrichtungen sowie privatwirtschaftlich finanzierten Forschungs- und Entwicklungsprojekten in den Bereichen Schiffs- und Meerestechnik, Meerestech-nik, Fischerei und Aquakultur verweisen. Er hat die Geschäftsführung des Maritimen Kompetenzzentrums für industrienaher Forschung in der Meerestechnik (MariKom) inne.

M.Sc. Daniela Glück

Daniela Glück schloss ihr Biologiestudium an der Universität Rostock 2020 mit dem akademischen Grad Master of Science als Meeresbiologin ab. Im Rahmen ihrer Masterarbeit befasste sie sich bereits intensiv mit wissenschaftlichen Fragestellungen rund um das Seegras und kann bereits große Expertise auf dem Gebiet der Seegraswiesen vorweisen. Seit 2021 verfolgt sie ihr Promotionsstudium am Institut für Biowissenschaften der Universität Rostock.

Dipl.-Ing. Reinhard Helbig

Reinhard Helbig ist Diplom-Ingenieur für Textilmaschinenkonstruktion und verfügt über langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Konstruktion und Entwicklung von Textil- und Sondermaschinen zur Herstellung technischer Textilien. Bis 2020 war er Abteilungsleiter im Sächsischen Textilforschungsinstitut. Ein besonderer Arbeitsschwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit liegt in der Entwicklung von Textilien für maritime Anwendungen, wobei Nachhaltigkeit und der Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Fokus stehen.

Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Kreft

Hans-Jürgen Kreft ist Diplom-Ingenieur mit dem Arbeitsschwerpunkt der verfahrenstechnischen Entwicklung, dem Bau sowie dem Betrieb von Anlagentechnik mit dem Ziel eines hohen Automatisierungsgrades. Er verfügt über langjährige, ingenieurtechnische Erfahrungen bei Siemens.

