

Jana WÖLFEL, Ulf KARSTEN

## **Saisonale Sukzession in der photoautotrophen Schicht mikrobieller Matten des Windwattes der Darß-Zingster Boddenkette**

### **1 Einleitung**

Vor dem östlichsten Punkt der Halbinsel Darß/Zingst (Mecklenburg-Vorpommern) befindet sich ein Bereich, der in dieser Form an der deutschen Küste einmalig ist: das Windwatt „Bock“. Hierbei handelt es sich um eine rund 1600 ha große marine Flachwasserzone, in der das Wasser bei mittlerem Pegelstand nur 5–25 cm tief ist. Vereinzelt ragen Sandbänke heraus und bei ablandigen Winden südlicher bis südwestlicher Richtung fällt diese riesige Sandfläche zum größten Teil trocken. Solche Gebiete werden als Windwatt bezeichnet (EISMA 1998).

Demzufolge besteht der Hauptunterschied des Windwatts zu den Gezeitenwatten mit ca. zwölfstündiger Periodik darin, dass sich die Überflutung des erstgenannten Gebietes täglich oder saisonal abhängig je nach Windrichtung und Pegelstand der Ostsee ändern kann. Diese Überflutungssituation ist daher zeitlich sehr variabel, es bedarf oft nur wenige Stunden bis das Gebiet überflutet wird, aber auch wieder trocken fallen kann.

Die Ausbildung eines Windwatts ist weltweit nur selten zu finden, wie z.B. am Schwarzen Meer, Nordstrände des Kaspischen Meeres oder die Laguna Madre in Mexiko/ Texas (EISMA 1998), weshalb nur sehr wenige ökologische Studien zu diesem besonderen Typ Ökosystem vorliegen. Im Windwatt „Bock“ wurden in den letzten 40 Jahren lediglich eine makrozoobenthologische (KUBE 1992) und hauptsächlich ornithologische Arbeiten (GRAUMANN & NEUMANN 2001) durchgeführt.

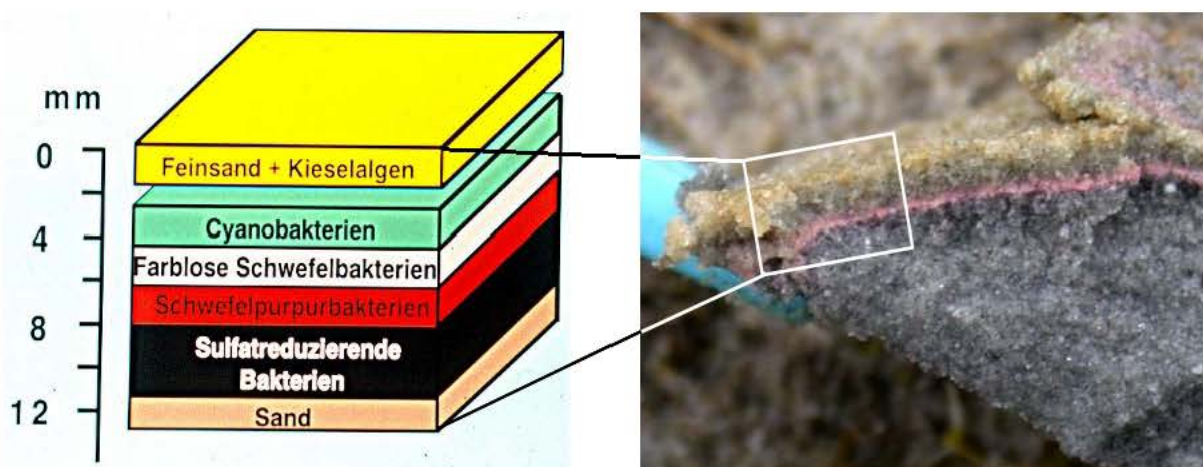
Für Benthosorganismen stellt das Windwatt ein Biotop mit extremen Umweltbedingungen dar, welches sich ähnlich wie im Gezeitenwatt durch den Wechsel von Überflutung und Trockenfallen auszeichnet. Fauna und Flora werden daher mit starken Salinitäts- und Temperaturschwankungen sowie Erosions- und Sedimentationsprozessen konfrontiert.

Diese speziellen Umweltbedingungen sind unter anderem die Voraussetzung für die Bildung mikrobieller Matten, da das Vorkommen von mattenzerstörenden Tieren (z.B. Weidegänger) und konkurrierender höherer Pflanzen durch diese Faktoren begrenzt wird (STAL 1995).

Unter dem Begriff mikrobielle Matte versteht man ein zusammenhängendes System, welches durch stabile Verflechtungen zwischen benthischen mikrobiellen Gemeinschaften und dem Substrat entsteht. Mikrobielle Matten können von ver-

schiedenen Organismen gebildet werden, jedoch sind Cyanobakterienmatten am meisten verbreitet und am besten untersucht (STAL 1995). Sie werden bevorzugt an hypersalinen Gewässern, heißen Quellen, trockenen und heißen Wüsten, in alkalischen und antarktischen Seen und in Gezeitenbereichen gefunden (COHEN & ROSENBERG 1989). Obwohl Cyanobakterienmatten weltweit verschiedenen extremen Umweltbedingungen ausgesetzt sind, zeigen sie immer eine mehr oder weniger einheitliche Schichtung ähnlicher Mikroorganismengruppen, die vertikale, farblich voneinander differenzierte Horizonte bilden (VAN GEMERDEN 1993). Im marinen Bereich wurde dies bereits von SCHULZ (1936) als „Farbstreifensandwatt“ beschrieben (Abb.1).

Der typische Aufbau einer mikrobiellen Matte der Gezeitenzone ist wie folgt zu beschreiben: die aeroben, lichtabhängigen Cyanobakterien und Diatomeen befinden sich an der Sedimentoberfläche. Darunter sind farblose Schwefelbakterien zu finden, die als chemotrophe Organismen auf Sauerstoff angewiesen sind. Die Schwefelpurpurbakterien sind unterhalb dieser Schichten angesiedelt, da es sich hierbei zwar um anaerobe, aber durch ihre anoxische Photosynthese trotzdem noch lichtabhängige Organismen handelt. Im untersten Horizonte leben wiederum die heterotrophen, anoxischen sulfatreduzierenden Bakterien (Abb. 1).



**Abb. 1** links: schematischer Aufbau einer Cyanobakterien dominierten mikrobiellen Matte mit typischer farblicher Stratifizierung der Mikroorganismen-Gruppen  
rechts: Foto einer mikrobiellen Matte aus dem Uferbereich des Windwatts 2002, Maßstab 1:2 (zur Verfügung gestellt Prof. Karsten)

Mikrobielle Matten sind Ökosysteme, in denen die Kreisläufe der Elemente weitgehend geschlossen sind. Sie bieten als das „kleinste Ökosystem der Welt“ (KARSTEN & KÜHL 1996) ein einzigartiges, miniaturisiertes Modell der Ökosystemforschung. Matten können eine Mächtigkeit von einem Zentimeter bis zu mehreren Metern und Ausdehnungen über mehrere Quadratkilometer erreichen (KARSTEN & KÜHL 1996). Besonders in den kargen und primärproduktionsarmen Habitaten der Gezeitenzone gewinnen mikrobielle Matten mit hoher Biomasse an großer ökologischer Bedeutung.

Während in den letzten drei Jahrzehnten weltweit an vielen marinen Standorten mikrobielle Matten unter verschiedensten ökologischen und physiologischen Aspek-

ten intensiv untersucht wurden, liegen kaum vergleichbare Daten aus der Ostseeregion vor (WITTE et al. 2004). Daher werden innerhalb der Arbeitsgruppe für Angewandte Ökologie derzeit Projekte zur Mattenforschung im Ostseeraum durchgeführt.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde 2002/2003 erstmalig die saisonale Sukzession in der photoautotrophen Schicht von mikrobiellen Matten des Windwatts Bock der Ostsee beschrieben.

## **2 Material und Methoden**

Die Artenzusammensetzung und Biomasse des Mikrophytobenthos sowie dessen wesentliche abiotische Einflussfaktoren wie Klima, Sedimentbeschaffenheit und Nährstoffgehalt wurden untersucht. Eine etablierte Matte wurde im Vergleich zu einem anderen Standort betrachtet, an dem das Mikrophytobenthos noch keine feste mikrobielle Matte gebildet hatte. Beide Standorte (Station 1 „Entwickelnde Matte“, Station 2 „Etablierte Matte“) wurden während der Wachstumsperiode hinsichtlich der saisonalen Entwicklung charakterisiert. Die etablierte mikrobielle Matte erstreckte sich über eine Fläche von ca. 10 400 m<sup>2</sup>, im Mittel mit ca. 65 m Breite und 160 m Länge, welche sich im saisonalen Verlauf bis Oktober 2002 nicht wesentlich änderte.

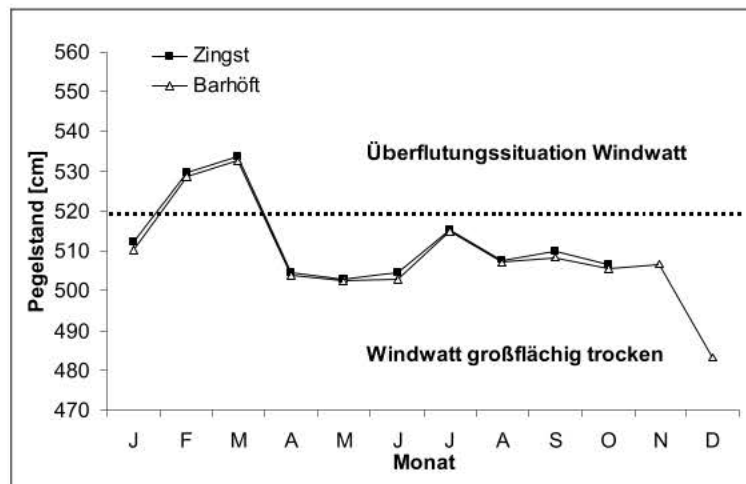
Es fanden neun monatliche Probenahmen von März bis November 2002 statt. Dabei wurde die photoautotrophe Schicht, die oberste 1 cm tiefe Sediment- bzw. Mattenschicht, mit einer abgeschnittenen Plastikspritze Ø 2 cm entnommen.

Als Biomasseparameter wurden u.a. die organischen Gehalte des Kohlenstoffs erfasst. An beiden Stationen waren Cyanobakterien und Diatomeen in der obersten Schicht dominant. Daher wurde nur die Artzusammensetzung dieser beiden taxonomischen Gruppen bestimmt und die Abundanz der Arten qualitativ geschätzt. Weiterhin wurden die abiotischen Parameter des Klimas (u.a. Windgeschwindigkeit und – richtung, gemessen an der Laborstation Zingst) sowie der Sedimentbeschaffenheit (u.a. Korngröße) untersucht. Um die Überflutungsereignisse des Windwattgebietes charakterisieren zu können, wurde der Pegelstand der Ostsee (Sonden bei Zingst des STAUN Rostock und bei Barhöft des WSA Stralsund) mit der aktuellen Wasserstandssituation auf dem Windwatt bei den jeweiligen Probennahmeterminen verglichen.

## **3 Ergebnisse und Diskussion**

Durch den Vergleich der Pegelstandsdaten mit der aktuellen Situation auf dem Windwatt bei den Probennahmen wurde festgestellt, dass bei einem Pegelstand der Ostsee über 5,20 m das Windwattgebiet großflächig überschwemmt war. Der Pegelstand des Grabower Boddens bei Zingst und die stündlich ermittelten Pegelstandsdaten der Ostsee beider Sonden bei Zingst und Barhöft unterschieden sich saisonal unwesentlich voneinander. Ausgehend von einem mehrstündigen Pegel der Ostsee von mindestens 3 Stunden  $\geq$  5,20 m und mit den stündlich ermittelten Daten 2002 der Ostseesonden verglichen, wurde das Gebiet 1917 h bzw. 80 d überflutet. Das

bedeutet, dass die Windwattfläche nur ca. 11 Wochen des Jahres 2002 vollständig mit Wasser bedeckt war (Abb. 2).

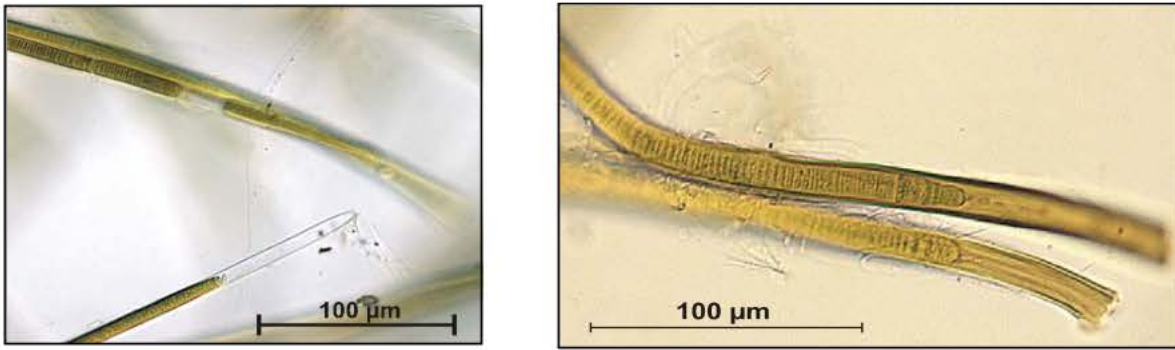


**Abb. 2** Pegelstände der Ostsee bei Zingst (STAUN Rostock) und bei Barhöft (WSA Stralsund) im Vergleich zu den Überflutungsereignissen auf dem Windwatt im Jahresverlauf 2002; Monatsmittel der täglichen Pegelstände in [cm], alle 60 min Messungen akkumuliert, gepunktete Grenzlinie bei der Pegelhöhe von 520 cm, darüber liegende Werte spiegeln eventuelle Überflutungssituationen auf dem Windwatt zum jeweiligen Zeitpunkt wider

Eventuelle kurzfristige Überflutungsereignisse konnten wegen einer zu geringen Probennahmefrequenz nicht beurteilt werden. Daher wurde zwar der Parameter Wind mit der jeweiligen Geschwindigkeit und Richtung bei der Beurteilung der Überschwemmungssituation mit berücksichtigt, jedoch war die Korrelation unzureichend. Es scheinen Winde aus nordöstlicher und nordwestlicher Richtung mit Geschwindigkeiten von über  $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  die Überflutung des Gebietes zu fördern.

Im Windwatt waren die Mikrophytobenthosorganismen folglich extremen abiotischen Bedingungen ausgesetzt, wie z.B. starken Erosionsprozessen im Frühjahr und Austrocknung sowie starken Salinitäts- und Temperaturschwankungen im Sommer.

Wie erfolgte eine Besiedlung bei diesen extremen Umweltbedingungen? Beide Standorte wiesen ein ähnliches Artenspektrum der 14 Cyanobakterientaxa auf, es wurden lediglich signifikante Unterschiede der Stationen ( $p=0,046^*$ , Monte Carlo Permutationstest) durch verschiedene Abundanz der Arten im saisonalen Verlauf erfasst. Eine Sukzession der beiden dominantesten Cyanobakterienarten, die u.a. zu den wichtigsten „Mattenbildnern“ gehören (VAN GEMERDEN 1993), *Microcoleus chthonoplastes* und *Lyngbya aestuarii* wurde festgestellt (WITTE et al. 2004). Weiterhin wurde im saisonalen Verlauf (August bis November 2002) eine zunehmende Verfärbung der anfangs farblosen Scheiden von den unmittelbar an der Oberfläche befindlichen Vertretern der Art *Lyngbya aestuarii* beobachtet (Abb. 3).



**Abb. 3** links: mikroskopische Aufnahme von *Lyngbya aestuarii* mit transparenten Scheiden (Mertens 1816) Liebmann 1839 im April 2002;  
rechts: mikroskopische Aufnahme von *Lyngbya aestuarii* im August 2002, die Scheiden sind braun gefärbt

Dies ist auf einen hohen Gehalt an Scytonemin zurückzuführen (KARSTEN et al. 1998, STAL 1995), welches extrazellulär in die Scheide abgegeben wird und auch nach einem Absterben des Organismus als Scheide mit dem Pigment erhalten bleibt (GARCIA-PICHEL & CASTENHOLZ 1991). Die Bildung des Pigmentes wird durch erhöhte UV-Strahlung induziert (KARSTEN et al. 1998). Während im Frühjahr hohe Abundanzen von *Microcoleus chthonoplastes* das Sediment der Station 1 (zur Station 2 liegen keine Daten vor) verfestigten, wurde *Lyngbya aestuarii* in sehr hoher Abundanz während der Sommermonate vor allem in den ersten Millimetern der mikrobiellen Matte beobachtet. Die Ansammlung dieser Individuen bzw. deren Scheiden bildete eine gelblich-braune Schicht direkt auf der Mattenoberfläche. Andere Mikrophytobenthosorganismen wie z.B. *Microcoleus chthonoplastes* wurden überdeckt und waren so vor erhöhter UV-Strahlung geschützt (KARSTEN et al. 1998), ein Phänomen, welches man auch als „Sonnenbrille“ bezeichnet (STAL 1995) und u.a. schon von mikrobiellen Matten einer tropischen Gezeitenzone Australiens (KARSTEN et al. 1998) beschrieben wurde.

Jedoch unterscheiden sich die mikrobiellen Matten des Windwattes von denen des Gezeitenwattes: Vergleicht man die ermittelten Biomassegehalte von  $7\text{--}57\text{ g C m}^{-2}$  des Windwattes mit den Literaturangaben anderer Cyanobakterienmatten von Gezeitenzonen z.B. der Nordsee (Insel Mellum, bei  $0,5\text{ cm}$  Sedimenttiefe) mit  $140\text{--}380\text{ g C m}^{-2}$  (YALLOP 1994), so stellt man eine weitaus geringere Biomasse fest.

Darin ist unter anderem der Unterschied in der vertikalen Struktur zwischen den Matten der beiden Habitats begründet. Innerhalb der Matten der Gezeitenwatte wird in der Regel die Sonnenstrahlung durch die hohen Abundanzen der Cyanobakterien und Diatomeen sehr schnell optisch abgeschwächt (KÜHL et al. 1994) und die Schicht unter der photischen Zone ist meist permanent anoxisch (STAL 1995) (Abb. 1). In der mikrobiellen Matte des Windwattes wurde jedoch zu Beginn des Untersuchungszeitraumes die Bildung einer entsprechenden anoxischen Zone erst ab  $7\text{ mm}$  und auch nur in  $30\%$  der Proben beobachtet. Gegen Ende der Beprobungskampagne konnten bereits in  $50\%$  der Proben eine solche Zone festgestellt werden (Abb. 4). Folglich ist zu vermuten, dass ähnlich wie im Gezeitenwatt mit zunehmender Biomasseproduktion die Strahlung im Verlaufe des Jahres eine immer geringere Eindringtiefe aufwies. Da die anaeroben Schwefelpurpurbakterien ein anox-

isches Milieu benötigen, fehlte den mikrobiellen Matten im Windwatt ebenfalls die typische violette Schicht des Farbstreifensandwatts der Gezeitenzone (Abb. 5).



**Abb. 4** selten beobachtete farbliche Stratifizierung der Cyanobakterienmatte mit einer schwarzen, anoxischen Schicht, vertikaler Schnitt eines Probenkerns (Juni, 2002), Skale = 1 cm



**Abb. 5** „Übliche“ farbliche Stratifizierung der Cyanobakterienmatte der Station 2, vertikaler Schnitt eines Probenkerns (Juni, 2002), Skale = 1 cm

Als einer der entscheidenden Faktoren für diese besondere, bisher nicht beschriebene Stratifizierung der Windwatt-Mikrobenmatte kann das gröbere Sediment angenommen werden. In Gezeitenbereichen werden nach STAL (1995) bevorzugt sandige Sedimente mit einer mittleren Korngröße von 63 bis 200  $\mu\text{m}$  und mit unterschiedlichen Anteilen an Schlick und Ton durch Cyanobakterienmatten besiedelt. Im Windwatt herrschen jedoch mittlere Korngrößen von 320-330  $\mu\text{m}$  mit kaum nachweisbaren schlickigen und tonigen Partikeln vor. Dies bedingt im Vergleich zu den Gezeitenzonen sicherlich andere physikochemische Gradienten innerhalb der Matte. Wahrscheinlich wurden durch die größeren Sedimentpartikel zum einen die Besiedlung durch die Pionierorganismen der Cyanobakterien erschwert, welches unter anderem die geringeren Biomassegehalten erklären würde, zum anderen konnte die Strahlung tiefer eindringen und die photosynthetische  $\text{O}_2$ -Produktion, die Entstehung einer anoxischen Zone.

Durch die Anreicherung des Sedimentes mit Biomasse gewinnt die Besiedlung mit mikrobiellen Matten im Windwatt an ökologischer Bedeutung. Durch diesen Bewuchs findet eine Änderung der Sedimentoberfläche statt, einhergehend mit der Verfestigung des Sedimentes, hoher Primärproduktion und Nährstoffanreicherung in ansonsten eher primärproduktions- und nährstoffarmen Gebieten (KARSTEN et al. 2003). Die organischen Verbindungen im Sediment bilden eine wichtige Nahrungsgrundlage für die Meiofauna, die wiederum als Nahrung für größere wirbellose Meerestiere dient, somit unterstützen Mikrobenmatten vielfältige Nahrungsbeziehungen. Da die untersuchte mikrobielle Matte bereits eine Ausdehnung von über 10.000  $\text{m}^2$  erreichte, werden in Zukunft mikrobielle Matten die Morphogenese (z.B. Verlandung) des Windwattes nachhaltig verändern.

## Literatur

- SCHIEWER, U., D. RENTSCH, S. GÖRS & R. SCHUMANN (2002): Aggregates and bacterial populations in fluffy sediment layers from shallow brackish waters. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 1551-1557.
- COHEN, Y. & E. ROSENBERG, E. (1989): *Microbial Mats*. American Society for Microbiology; Washington, DC.
- GARCIA-PICHEL, F. & R.W. CASTENHOLZ (1991): Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. *J. Phycol.* 27: 395-409.
- GRAUMANN, G. & R. NEUMANN (2001): Die Wasser- und Watvögel im Nationalparkgebiet Windwatt Bock und Werder-Inseln. *Meer und Museum* 16: 96-100.
- EISMA, D. (1998): Wind Flat Deposits. In: *Intertidal Deposits: River Mouths, Tidal Flats and Coastal Lagoons*. CRC Press, 309- 316.
- KARSTEN, U., R. SCHUMANN & K. WITTE (2003): Die Darß-Zingster Boddengewässer Filter zwischen Land und See. *BIUZ* 33: 46-55.
- KARSTEN, U., J. MAIER & F. GARCIA-PICHEL (1998): Seasonality in UV-absorbing compounds of cyanobacterial mat communities from an intertidal mangrove flat. *Aquat. Microb. Ecol.* 16: 37-44.
- KARSTEN, U. & M. KÜHL (1996): Die Mikrobenmatte – das kleinste Ökosystem der Welt. *BIUZ* 26: 17-26.
- KUBE, J. (1992): Das Makrozoobenthos des Windwatts am Bock – Szenario des Jahres 1991. Diplomarbeit Universität Rostock: 151 S.
- KÜHL, M., C. LASSEN & B.B. JØRGENSEN (1994): Optical properties of microbial mats: light measurements with fibric-optic microbes. In: *STAL, L.J. & P. CAUMETTE, eds.; Micobial Mats, Structure, Development und Environmental Significance*. NATO ASI Series, 35: 149-166.
- SCHULZ, E. (1936): Das Farbstreifen-Sandwatt und seine Fauna, eine ökologische biozönotische Untersuchung an der Nordsee. *Kieler Meeresforschung* 1: 359-378.
- STAL, L.J. (1995): Physical ecology of cyanobacteria in microbial mats and other communities. *New Phytol.* 131: 1-32.
- VAN GEMERDEN, H. (1993): Micobial mats: A joint venture. *Mar, Geol.* 113: 3-25.
- WITTE, K., J. WÖLFEL & U. KARSTEN (2004): Das Vorkommen mikrobieller Matten an der Deutschen Ostseeküste und die saisonale Sukzession in Mikrobenmatten am Beispiel des Windwatts „Großer Werder“. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 12: 61-70.
- YALLOP, M.L., B. De WINDER, D.M. PATERSON & L.J. STAL (1994): Comparative structure, primary production and biogenic stabilization of cohesive and non-cohesive marine sediments inhabited by microphytobenthos. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 39: 565-582.

## Autoren:

Dipl. Biol. Jana Wölfel  
Universität Rostock  
Institut für Biowissenschaften  
Angewandte Ökologie  
Albert-Einstein-Str. 3  
18051 ROSTOCK

Email: [jana.woelfel@stud.uni-rostock.de](mailto:jana.woelfel@stud.uni-rostock.de)

Prof. Dr. Ulf Karsten  
Universität Rostock  
Institut für Biowissenschaften  
Angewandte Ökologie  
Albert-Einstein-Str. 3  
18051 ROSTOCK

Email: [ulf.karsten@biologie.uni-rostock.de](mailto:ulf.karsten@biologie.uni-rostock.de)