

TEXTE

129/2019

Gutachten zum regionalen Bewuchsdruk von Biofouling-Organismen in Deutschland

Abschlussbericht

TEXTE 129/2019

Projektnummer 93478
FB000023

Gutachten zum regionalen Bewuchsdruck von Biofouling-Organismen in Deutschland

Abschlussbericht

von

Dr. Burkard Watermann, A. Thomsen, B. Daehne, C. Fürle
LimnoMar, Hamburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

LimnoMar
Bei der Neuen Münze 11
22145 Hamburg

Abschlussdatum:

August 2018

Redaktion:

Fachgebiet IV 1.2 Biozide
Marieke Oosterwoud

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Der Bewuchsdruck spielt für die Sportschifffahrt eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Bewuchsschutzmaßnahmen, die notwendig sind, um einen bewuchsfreien Rumpf zu erhalten. Da der Bewuchsdruck aber regional sehr starke Unterschiede aufweist, sind die Kenntnisse über die regionalen Unterschiede von großer Bedeutung, um die jeweils umweltfreundlichste Technik anwenden zu können. Generell ist der Bewuchsdruck im Salzwasser am stärksten und nimmt zusammen mit dem Salzgehalt zunehmend ab. So ist in der westlichen Ostsee noch mariner Bewuchs vorhanden, der aber in Richtung Osten immer mehr den Charakter von Brackwasser und schließlich Süßwasserbewuchs annimmt. Durch die Entwicklung in der Bewuchsschutztechnik ist es seit einigen Jahren auch bei starkem Bewuchsdruck möglich, biozidfreie Verfahren einzusetzen, um so den Eintrag von Bioziden und weiteren Komponenten aus erodierenden und polierenden Beschichtungen zu vermeiden. So können durch diese Studie in Verbindung mit den Stationen und Regionen, für die Bewuchsdaten vorliegen, immer vorrangig biozidfreie Verfahren empfohlen werden, die praktikabel und am Markt verfügbar sind. Um Sportbooteignern und -eignerinnen möglichst zuverlässige Informationen zur Verfügung zu stellen, wurden daher neben den Bewuchsdaten auch bisherige Erfahrungen aus Forschungsprojekten und Praxistests mit biozidfreien Techniken aufgelistet. Durch die Verbindung von Informationen zum Bewuchsdruck und jeweils angepassten Bewuchsschutzmaßnahmen soll dem Wassersport eine frei verfügbare Informationsbasis geliefert werden, um in Zukunft umweltfreundliche und gesundheitsschonende Bewuchsschutztechniken einzusetzen.

Abstract

Detailed knowledge about the fouling pressure and its regional variations are crucial for leisure boat owners to make up their choice for the appropriate fouling prevention technique. As part of a skilled seamanship the knowledge is important for the selection of the most environmental friendly antifouling technique. Generally speaking, the fouling pressure is heavy in saltwater, declining in brackish water and mostly mild in freshwater areas. At German coast along the North Sea and in the western Baltic Sea fouling pressure is high and in the Eastern direction of the Baltic Sea getting less intense and displaying the type of freshwater fouling. On the background of progress in biocide-free fouling prevention techniques in the past, even for saltwater biocide-free techniques and products are available on the market. Based on locations and regions of which fouling data were at hand, scientific sound descriptions of the respective fouling pressure and recommendations for the choice of the most environmental friendly and non-hazardous fouling prevention technique were compiled for German waters bodies. The recommendations base on multiple research projects, filed tests and simulated field tests with panels. By the connection of the description of the local fouling pressure and the recommendation for the most environmental friendly technique will it be possible to guide the boat owners into future sustainable water sports.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
Zusammenfassung	9
Summary	11
1 Einleitung	13
1.1 Allgemeine und spezielle Informationen zum Thema Bewuchs	14
2 Bestimmung von Bewuchs-Regionen anhand von dominanten Bewuchsgemeinschaften	16
2.1 Salzwasser	17
2.2 Brackwasser	21
2.2.1 Bewuchsdruck an der deutschen Ostseeküste und angrenzenden Gebieten	21
2.3 Süßwasser	25
2.3.1 Bewuchsdruck Bodensee	25
2.3.2 Die Bewuchsproblematik durch Dreissenidae (Zebra- und Quagga-Muschel)	26
2.3.2.1 Zebrauschel (<i>Dreissena polymorpha</i>)	26
2.3.2.2 Quagga-Muschel (<i>Dreissena rostriformis bugensis</i> Andrusov, 1897)	27
2.3.3 Süßwasserschwämme (Spongillidae)	28
2.3.4 Nesseltiere und Moostierchen (Hydrozoen und Bryozoen)	29
3 Vorstellung der Datenbasis für das Gutachten	31
3.1 Identifizierung von Datenlücken	32
4 Typisierung der Regionen gleichen Bewuchsdrucks nach dem Ampelsystem	33
5 Bewuchsschutz-Systeme und Empfehlungen zu ihrem Einsatz	35
5.1 Kategorie A Biozidfreie Verfahren und Beschichtungen	36
5.1.1 Antihafbeschichtungen und -Folien	36
5.1.2 Reinigungsfähige Hartbeschichtungen	37
5.1.3 Erodierende Beschichtungen ohne toxische Zusätze	38
5.1.4 Erodierende Beschichtungen mit anorganischen Zinkverbindungen	38
5.1.5 Heb- und Liftanlagen für Boote	39
5.1.6 Reinigungsanlagen und Werkzeuge	40
5.2 Biozidhaltige Antifoulingprodukte der Kategorie B	40
Anhang	43
6 Quellenverzeichnis	51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bewuchsentwicklung im Salzwasser, links beginnend mit einem Biofilm über zunehmenden Makrobewuchs, rechte Bildhälfte, aus z. B. Algen und Seepocken oder Muschel . Error! Bookmark not defined.	
Abbildung 2:	Die wichtigsten Bewuchsformen im Salzwasser.....	19
Abbildung 3:	Die wichtigsten Bewuchsformen im Brackwasser.....	24
Abbildung 4:	Die wichtigsten Bewuchsformen im Süßwasser.....	30
Abbildung 5:	Bewuchs-Kontrollplatten.....	32
Abbildung 6:	Jollenkreuzer mit Antihafbeschichtung nach der Saison ungereinigt	37
Abbildung 7:	Jollenkreuzer mit Antihafbeschichtung nach der Saison gereinigt ...	37
Abbildung 8:	Erodierende Beschichtung ohne toxische Zusätze nach einer Saison im Süßwasser	38
Abbildung 9:	Bootshebeanlagen für Boote bis 10 meter Länge, Meichle & Mohr, Kressbronn Bodensee	39
Abbildung 10:	Selbstgebaute Bootshebeanlage bis 500 kg, Ratzeburger See, Schanzenberg.....	39
Abbildung 11:	Selbstgebaute Bootshebeanlage bis 500 kg, Ratzeburger See, Schanzenberg.....	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auswirkungen des Bewuchses auf den Reibungswiderstand, den Treibstoffverbrauch und die CO ₂ Emissionen der Welthandelsflotte	15
Tabelle 2:	Regionaler Bewuchsdruck an der deutschen Ostseeküste.....	22
Tabelle 3:	Biozid- (B) und Biozidfreie (A) Bewuchsschutz-Systeme	35

Abkürzungsverzeichnis

ARGE	Arbeitsgemeinschaft Elbe
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BONUS	Joint Baltic Sea research and development programme
BSVB	Bodensee-Segler-Verbands
CHANGE	Changing antifouling practices for leisure boats in the Baltic Sea
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DCOIT	Dichloroethylisothiazolinon
DSV	Deutschen Segler Verband
EU	Europäische Union
HELCOM	Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission. Kommission zum Schutz der Meeresumwelt im Ostseeraum.
IPPIC	International Paint and Printing Ink Council
NLWKN	Niedersächsisches Landesamt für Wasserbau, Küsten- und Naturschutz
PSU	Practical Salinity Unit
UBA	Umweltbundesamt

Zusammenfassung

Die Erwartung, dass der Rumpf am Ende der Saison keine Vegetation aufweisen soll, ist für viele Bootsbesitzer entscheidend bei der Wahl einer Antifoulingbeschichtung. Dabei wird nachweislich zu häufig und zu viel Antifoulingbeschichtung aufgetragen (Yacht, 2017). Außerdem sind 95% der bei Sportbooten eingesetzten Antifouling-Produkte biozidhaltig. Vielen Bootsbesitzern ist nicht klar, welche Gefährdungen von dem Biozid-Produkt ausgehen. Die Verwendung von biozidhaltigen Antifouling-Produkten ist grundsätzlich mit Risiken für die Umwelt sowie für die Gesundheit von Mensch und Tier verbunden.

Die Notwendigkeit von biozidhaltigen Antifouling-Produkten, vor allem im Süßwasser, ist abhängig von dem Vorort herrschenden Bewuchsdruck. Voraussetzung für einen Umstieg der Bootseigner auf biozidfreien Alternativen, sind Kenntnisse über die Bewuchsverhältnisse im jeweiligen Revier. Ziel dieses Projektes ist daher, den regionalen Bewuchsdruck zu charakterisieren und auf dieser Grundlage einen differenzierten Bewuchsschutz zu empfehlen. Den Bootsbesitzern wird so eine Orientierungshilfe für den Einsatz von Antifouling-Produkten angeboten. Entsprechend des Bewuchsdrucks in den verschiedenen Revieren werden dafür geeignete Antifouling-Produktkategorien und -Systeme einschließlich biozidfreier Verfahren ausführlich dargestellt und empfohlen. Gebiete mit ähnlichen Bewuchsverhältnissen können dabei zu „Bewuchsregionen“ zusammengefasst werden.

Für die Identifizierung von Bewuchsregionen liegen Bewuchsanalysen von verschiedenen Standorten in Deutschland vor. Die Daten stammen aus Forschungs-Projekten, die im Zeitraum von 1997-2000 durchgeführt wurden, sowie aus einem Projekt mit dem Deutschen Seglerverband (DSV) aus dem Jahr 2008. Für die Nordsee- und Ostseeküste liegen so umfangreiche Daten vor, dass diese für diese beiden Regionen als repräsentativ angesehen werden können. Für alle anderen Regionen muss die Datenlage bisher als punktuell eingestuft werden. Hier besteht noch erheblicher Ergänzungsbedarf. Dennoch können auch für viele Süßwasserreviere repräsentative Aussagen getroffen werden.

Die Masse und Geschwindigkeit, in der sich Bewuchs ansiedelt, ist regional und saisonal unterschiedlich. Man spricht von einem hohen Bewuchsdruck, wenn sich innerhalb kurzer Zeit ein mit kalkschaligen Organismen durchsetzter Bewuchs entwickelt, der sehr fest auf dem Rumpf haftet, großen Reibungswiderstand erzeugt und schwer zu entfernen ist. Als mäßiger Bewuchsdruck wird eine Bewuchsgemeinschaft bezeichnet, die sich vielfältig oder auch mit wenigen Arten entwickelt von denen nur ein geringer Teil hartschalig ist und fest haftet. Als schwacher Bewuchsdruck wird eine Bewuchsgemeinschaft bezeichnet, die kaum über das Stadium eines Biofilms, also eines Mikrofoulings, hinausgeht.

Salzwasser- bzw. mariner Bewuchs ist insbesondere durch das Vorkommen hartschaliger Organismen mit kalkhaltigen Strukturen auf der Körperoberfläche oder schützenden Wohnröhren gekennzeichnet. Die deutsche Ostseeküste weist einen von West nach Ost leicht abfallenden Bewuchsdruck auf, wobei auch noch bis zur polnischen Grenze Seepocken und Miesmuscheln hartschalige Krusten bilden, die von Jahr zu Jahr mit wechselnder Dominanz auftreten können. Zudem existieren an der deutschen Küste Bewuchs „Hot Spots“ in Travemünde, in der Warnow-Mündung, dem Strelasund und der Ryck-Mündung vor Greifswald. Die deutschen Binnengewässer weisen zwar ubiquitär hartschalige Organismen wie die Zebra- und Quaggamuschel auf, doch ist der Bewuchs insgesamt als deutlich weniger rau und weniger fest haftend einzustufen.

Aus den Charakterisierungen des Bewuchses in Salz-, Brack- und Süßwasser folgt, dass es keine Gewässer-Region gibt, in dem ein Bewuchsschutz völlig entbehrlich wäre. Allerdings gilt inzwischen durch die Weiterentwicklung der Bewuchsschutz-Systeme nicht mehr, dass bei starkem, marinen Bewuchsdruck nur biozidhaltige Antifoulingbeschichtungen einen Schutz bieten, da auch einige Systeme ebenso im Salzwasser wirksam sind. Zudem bieten z.B. die Antihalt-Folien und -

beschichtungen auf Silikonbasis den Vorteil, dass sie in allen Gewässertypen und Bewuchsregionen wirksam sind.

Daher wurde für die Einteilung in Bewuchsregionen folgende Verknüpfung mit den Bewuchsschutz-Empfehlungen gewählt:

- ▶ ROT (Salzwasser) Biozidhaltige Produkte mit Hersteller-Empfehlung für den Einsatz bei starkem Bewuchs im Salzwasser ebenso wie für das Salzwasser geeignete biozidfreie Verfahren wie Antihafthüllen, -beschichtungen und Hebeanlagen.
- ▶ GELB (Brackwasser) fast alle biozidfreie Verfahren bieten einen ausreichenden Bewuchsschutz sowie Biozid-Produkte mit einer Hersteller-Empfehlung für den Einsatz in Gebieten mit mäßigem Brackwasserbewuchs
- ▶ GRÜN (Süßwasser) Alle biozidfreien Verfahren und Systeme können sofort oder in problematischen Gewässern wie z.B. denn Voralpenseen nach einer Übergangs- und Erprobungsphase für das jeweilige Gewässer eingesetzt werden. Biozid-Produkte mit einer Hersteller Empfehlung für das Süßwasser sind kurzfristig bzw. längerfristig entbehrlich.

Summary

For many boat owners, the fact that the hull has no vegetation at the end of the season is crucial when choosing an antifouling coating. It has been proven that too much antifouling coating is applied too often (Yacht, 2017). In addition, 95% of the antifouling products used on recreational crafts/pleasure boats contain biocides. Many boat owners are unaware of the hazards posed by the product. The use of biocide-containing antifouling products is generally associated with risks for the environment as well as for human and animal health.

The need for biocide-containing antifouling products, especially in fresh water, depends on the local fouling intensity. The main prerequisite for boat owners to switch to biocide-free alternatives is knowledge of the fouling conditions in the respective area. The aim of this project is therefore to identify the regional fouling intensity and, on this basis, to recommend differentiated fouling protection. In this way, boat owners are offered an orientation aid for the use of antifouling products. According to the fouling intensity in the different areas, suitable antifouling products and systems including biocide-free methods are presented. Areas with similar fouling conditions can be combined to form "fouling regions".

For the identification of fouling regions, fouling analysis are available from various locations in Germany. The data originates from research projects carried out in the period 1997-2000 as well as from a project with the German Sailing Association (DSV) in 2008. Extensive data are available for the North Sea and Baltic Sea, which can be regarded as representative for these two regions. For all other regions the data availability has to be classified as selective. Nevertheless, representative statements can also be made for many fresh water areas.

The amount and rate at which fouling occurs varies regionally and seasonally. A high fouling intensity is defined as the rapid development of fouling interspersed with calcareous organisms, which adheres very firmly to the hull, produces high frictional resistance and is difficult to remove. Moderate fouling intensity is defined as a fouling community that can develop either a wide variety of species or only a few species and of which only a small part is hard-shelled and adheres firmly. A weak fouling intensity is defined as a fouling community that hardly exceeds the stage of biofilm, i.e. micro-fouling.

Saltwater or marine fouling is characterized in particular by the occurrence of hard-shelled organisms with calcareous structures on their surfaces or protective tubes. The German Baltic Sea shows a slightly decreasing fouling intensity from west to east, although barnacles and mussels also form hard-shelled crusts up to the Polish border, which can change from year to year with varying prevalence. There are also "hot spots" along the German coast in Travemünde, the Warnow estuary, the Strelasund and the Ryck estuary near Greifswald. Although the German inland waters contain ubiquitously hard-shelled organisms such as the zebra mussel and the quagga mussel, the overall fouling intensity can be classified as much less rough and less adherent.

From the characterisations of the fouling intensity in salt, brackish and fresh water it follows that there is no region in which fouling protection would be completely unnecessary. However, due to technological developments it is no longer the case that only biocide-containing antifouling coatings offer protection against high fouling intensities, as several systems are also effective in salt water. In addition, non-stick foils and coatings based on silicone have the advantage that they are effective in all water types and fouling regions.

The division into fouling regions can be linked to antifouling recommendations in the following way:

► RED (salt water): biocide-containing products with manufacturer's recommendations for use in salt water with high fouling intensity as well as biocide-free methods suitable for salt water such as non-stick foils, coatings and lifting systems.

- ▶ **YELLOW** (brackish water): almost all biocide-free methods offer sufficient protection against fouling as well as biocide-containing products with manufacturer's recommendations for use in regions with moderate fouling intensity.
- ▶ **GREEN** (fresh water): all biocide-free methods can be used even in problematic areas such as Prealps lakes. Biocide-containing products with a manufacturer's recommendation for fresh water are unnecessary in the short or long term.

1 Einleitung

Während in der professionellen Schifffahrt die Wahl der Antifoulingbeschichtung gezielt unter den Gesichtspunkten des Fahrprofils und des Einsatzgebietes vorgenommen wird, spielt diese Entscheidung in der Sportschifffahrt eher eine untergeordnete Rolle. Für die meisten Bootsbesitzer ist es wichtig, dass die Antifoulingbeschichtung „funktioniert“ und der Rumpf am Ende der Saison keinen Bewuchs aufweist. Dabei wird nachweislich zu häufig und zu viel Antifoulingbeschichtung aufgetragen (Yacht, 2017). Neueste Untersuchungen in dem EU Forschungsprojekt CHANGE (Changing antifouling practices for leisure boats in the Baltic Sea) beinhalteten die Abschätzung der Wirksamkeit von Antifouling-Produkten mit definierten, unterschiedlichen Kupfer-Konzentrationen. Die Ergebnisse zeigten, dass niedrig dosierte Kupferkonzentrationen von ca. 7 % ausreichen, um sogar den Bewuchs der Boote mit Seepocken an den getesteten Standorten in der Ostsee vollständig zu verhindern (Dahlström, 2017). Zudem wissen viele Bootsbesitzer beim Kauf eines gebrauchten Bootes nicht, welche Produkte sich am Bootsrumpf befinden bzw. welche Inhaltsstoffe sie enthalten. Oft wird ein Antifouling-Produkt benutzt, das vereinsweit angeschafft wird, oder es wird ein bestimmtes Produkt angewendet, weil der Bootsnachbar es auch benutzt und es gut „funktioniert“. Dabei ist den wenigsten Bootsbesitzern klar, welche Gefährdungen von dem Produkt ausgehen. 95 % der bei Sportbooten eingesetzten Antifouling-Produkte sind biozidhaltig, viele davon in Kombination verschiedener Antifouling-Wirkstoffe (LimnoMar, 2017). Die Verwendung von Biozid-Produkten der Produktklasse 21 (Antifouling-Produkte) ist grundsätzlich mit Risiken für die Umwelt sowie für die Gesundheit von Mensch und Tier verbunden. Diese Risiken können auch durch die behördliche Bewertung von Wirkstoff und Produkt sowie der zukünftigen Zulassung im Rahmen der Biozid-Verordnung nicht vollkommen vermieden werden.

Bei der bundesweiten Erfassung der Sportboot-Liegeplätze im Rahmen eines Forschungsprojekts im Auftrag des Umweltbundesamts (UBA) hat sich gezeigt, dass sich 71 % aller Liegeplätze im Süßwasser befinden, 26,2 % im Brackwasser, also hauptsächlich an der Ostsee und nur 2,8 % im Salzwasser (Watermann et al. 2015). Das bedeutet, dass vornehmlich in Binnengewässern Antifouling-Wirkstoffe aus der Beschichtung herausgelöst und in das umgebende Wasser freigesetzt werden (Leaching), obwohl genau diese Gewässer den geringsten Bewuchs aufweisen, und zudem einen geringen Wasseraustausch aufweisen.

Hier wäre es am einfachsten möglich, auf Biozid-Produkte zu verzichten wie dies in Deutschland schon auf dem Ratzeburger Seen sowie in den skandinavischen Binnengewässern seit Jahren praktiziert wird. Das Umweltbundesamt hat im Zusammenhang mit einer Veranstaltung auf der Hanseboot schon 2014 auf diesen Umstand hingewiesen und die Notwendigkeit von biozidhaltigen Antifouling-Produkten im Süßwasser in Frage gestellt (UBA, 2014). Eine Voraussetzung, die einen solchen Umstieg der Bootseigner fördern würde, wären Kenntnisse über die Bewuchsverhältnisse im jeweiligen Revier und die Kenntnis bzw. die Verfügbarkeit von biozidfreien Alternativen. Ziel des vorliegenden Projektes ist es daher, den regionalen Bewuchsdruck zu identifizieren und auf dieser Grundlage einen differenzierten Bewuchsschutz zu empfehlen. Den Bootsbesitzern soll so eine Orientierungshilfe für den Einsatz von Antifouling-Produkten angeboten werden. Entsprechend des Bewuchsdrucks in den verschiedenen Revieren sollen dafür geeignete Antifouling-Produktkategorien und -systeme einschließlich biozidfreier Verfahren aufgezeigt werden. Gebiete mit ähnlichen Bewuchsverhältnissen können dabei zu „Bewuchsregionen“ zusammengefasst werden, um eine bessere Übersichtlichkeit zu erreichen. Mit diesen Kenntnissen sollen die Bootsbesitzer davon überzeugt werden, dass auch biozidfreie Produkte oder zumindest mindertoxische Produkte in vielen Revieren ausreichen, um ihr Boot für eine sechsmonatige Saison bewuchsfrei und fahrtüchtig zu halten. Dadurch würde nicht nur der Eintrag in die Gewässer während der Benutzungsphase der Antifoulings eingespart werden, sondern auch der Eintrag in den Untergrund bei den Beschichtungs- und Entschichtungsarbeiten sowie der herbstlichen Reinigung der Boote vermieden werden. Studien in Schweden haben gezeigt,

dass bedingt durch den nicht vorhandenen Schutz unter den Booten die Böden in Häfen und Werften vielerorts kontaminiert sind (Eklund & Eklund, 2014; Eklund et al. 2014). Auch in Deutschland konnte diese Praxis in Sportboot-Häfen beobachtet werden, obwohl das Arbeiten am Rumpf ohne Schutz des Untergrundes verboten ist. Es gibt auch Vorgaben zum Schutz der Personen beim Umgang mit biozidhaltigen Produkten, die aber aus Unkenntnis oft nicht beachtet werden. Der Einsatz weniger giftiger Produkte würde so auch zum Schutz der Personen beitragen, die diese Produkte handhaben (Umweltministerium Niedersachsen, 2017). Daher ist es das Ziel dieses Projektes, die wichtigsten Bewuchsregionen in Deutschland zusammenzustellen, sie entsprechend ihrem Bewuchsdruck zu klassifizieren und auf der Basis der zur Verfügung stehenden Bewuchsschutz-Techniken an die lokalen Gegebenheiten Empfehlungen zu formulieren. Hierzu gehört die Aufarbeitung und Sichtung der bisher unter den Ansätzen eines „Bewuchs-Atlas“ gesammelten Bewuchsdaten sowie der Zusammenstellung von Bewuchsdaten, die in zurückliegenden Forschungsprojekten zur Antifoulingproblematik gesammelt wurden. Diese Daten sollen als der Kern der Empfehlungen dienen und aufzeigen, in welchen Gebiete noch Datenlücken besehen, bzw. die ältere Daten auf den neuesten Stand gebracht werden müssten. Aus diesem Fundus soll zu einem späteren Zeitpunkt ein digitaler Bewuchs-Atlas für Deutschland erstellt werden, der die Bewuchsregionen anhand ihres Bewuchsdrucks in einem Ampelsystem von Rot über Gelb bis Grün charakterisiert. Eingestreut in diese Regionen sollen die Standorte markiert werden, für die Bewuchsdaten vorliegen. Diese Standorte sollen durch Anklicken mit ihren Bewuchsinformationen und Empfehlungen aufgerufen werden können. So soll idealerweise für die Sportbootszene eine kostenlose Orientierung für eine möglichst umweltfreundliche Antifoulingpraxis an die Hand gegeben werden.

1.1 Allgemeine und spezielle Informationen zum Thema Bewuchs

Ein Bewuchsdruck setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen und ist nicht allein über den Bedeckungsgrad zu definieren. Es ist zudem offensichtlich, dass ein Biofilm oder Mikrofouling zwar eine 100 %ige Bedeckung hervorrufen kann, aber z.B. strömungs- und widerstandsmäßig als geringergradig zu beurteilen als eine üppige Makrofouling-Gemeinschaft. Aber auch eine taxonomische Beschreibung der Bewuchs-Gemeinschaft sagt noch nichts über den jeweiligen Bewuchsdruck aus. Zudem sind in Bezug auf die Erhöhung des Reibungswiderstands die angeströmten Bereiche eines Rumpfes von entscheidender Bedeutung. Hinsichtlich der Funktionsfähigkeit des Bootes und unter dem Aspekt der Einschleppung fremder Arten sind besonders schwach angeströmte oder durchströmte Nischenbereiche wie Kühlwassereinlässe, Heckbereiche und Ruder sowie etwaige Querstrahlruder von Bedeutung.

Der Bewuchs an Unterwasserrümpfen von Schiffen verursacht primär einen Verlust von Fahrgeschwindigkeit und sekundär auch enorme Kosten in Form von Treibstoffmehrverbrauch, Dockungskosten, Reinigungsaufwand und Bewuchsschutzmaßnahmen. Darüber hinaus stellt der Bewuchs ein Problem dar, da er den an Schiffen und auch an wasserbaulichen Anlagen erforderlichen Korrosionsschutz beschädigt und somit die Lebensdauer dieser technischen Anlagen deutlich verkürzen kann. Außerdem geht mit dem Bewuchs eine Gewichtszunahme einher, die die Hydrodynamik an Schiffen und die Statik wasserbaulicher Anlagen negativ beeinflusst.

Weitere Faktoren sind die Haftung bzw. Haftfestigkeit der Organismen, die für eine Selbstreinigung durch Fahrt relevant sind. Die Morphologie, also Gestalt der Organismen ist ebenso wichtig. Offensichtlich ist, dass hartschalige Organismen wie Seepocken, Muscheln, und Kalkröhrenwürmer eine enorme Zunahme des Reibungswiderstands hervorrufen können (s.a. Tabelle 1). Doch auch flexiblere Organismen wie langfädige Algen, Hydrozoen oder Tunikaten erhöhen den Reibungswiderstand deutlich, lassen sich bis zu einem gewissen Grad verformen, aber haften sehr fest. Flach wachsende Organismen wie Bryozoen und Schwämme weisen zwar eine nur schwach erhabene Morphologie auf und sind unter Reibungswiderstands-Aspekten weniger bedeuten, aber können ebenfalls sehr fest haften.

Tabelle 1: Auswirkungen des Bewuchses auf den Reibungswiderstand, den Treibstoffverbrauch und die CO₂ Emissionen der Welthandelsflotte

Auswirkungen	Zusätzlicher Reibungs-Widerstand (%)	Zusätzlicher Treibstoffverbrauch in 2020 (Mill. Tonnen)	CO ₂ Emissionen (Mill. Tonnen)	Zusätzliche Treibstoffkosten (Mrd. \$)
Direkt nach Applikation	0	0	0	0
Raue Beschichtung oder dünner Biofilm	9	44	134	22
Starker Biofilm	19	92	279	46
Beginnender Makrobewuchs	33	160	486	80
Mäßiger Makrobewuchs	52	253	768	127
Starker Makrobewuchs	84	408	1238	204

Zusätzlichen CO₂-Emissionen durch Welthandelsflotte, für verschiedene Bewuchsgraden, basierend auf zusätzlicher Wellenleistungswerte von Schultz (2007). Quelle: International Paint and Printing Ink Council (IPPIC), 2010.

Für die Bestimmung eines bestimmten Bewuchsdrucks kommt erschwerend hinzu, dass die Zusammensetzung der Bewuchsgemeinschaft von Jahr zu Jahr schwanken kann, so dass z.B. an demselben Standort in der Ostsee in einem Jahr heftiger Seepockenbewuchs auftritt, im nächsten Jahre aber keine Seepocken beobachtet werden. Die jährliche Zusammensetzung des Bewuchses in den Tidengewässern der Nordsee und auch in der Ostsee hängen stark von den vorherrschenden Wind- und Strömungsverhältnissen zur Zeit des jeweiligen Larvenfalls ab. So können Larven und Sporen in einem Jahr auf die See getrieben werden im nächsten aber direkt in die Häfen.

Aus der Sicht der Bootsbesitzer spielen eine Reihe anderer Faktoren eine große Rolle. Hierzu zählen die Aktivität der Bootseigner, also die Tage auf dem Wasser und die Tage im Hafen. Unter diesem Aspekt ist wichtig, dass der Bewuchs sich vorwiegend nur in der Ruhe auf dem Boot, also im Hafen ansiedelt. Je weniger das Boot bewegt wird, umso höher ist daher der Bewuchsdruck. Es gibt Schätzungen für Deutschland, dass ca. 80 % der Boote nur für 2 – 3 Wochen in der Saison bewegt werden.

Zudem spielt eine Rolle, wo der Heimathafen, bzw. der Liegeplatz ist, im Süß-, Brack- oder Salzwasser. Häufig unternehmen Bootsbesitzer entweder regelmäßig, wie bei den getrailerten Motorbooten, Ausflüge in andere Reviere oder besonders bei Segel- und größeren Motorbooten werden häufig die Ferienmonaten zu Ausflügen vom Süß- oder Brackwasser in die Nord- und Ostsee genutzt.

Bei der aktuell vorherrschenden Praxis des Einsatzes von biozidhaltigen Antifoulingbeschichtungen kommt erschwerend hinzu, dass die Leaching-Rate einer Beschichtung, also ihre Wirksamkeit, vom Salzgehalt abhängt. Fährt also ein Boot von der westlichen Ostsee in die östliche und nordöstliche Ostsee, sinkt die Leaching-Rate kontinuierlich (s.a. Kapitel 5.2). Ähnliche Effekte sind in Ästuaren zu beobachten, wie z.B. an der Trave oder Warnow. Dort versagen verstärkt durch eine Eutrophierung die meisten Biozid-Antifouling Beschichtungen, da der Bewuchsdruck lokal stark erhöht, aber die Leaching-Rate erniedrigt ist.

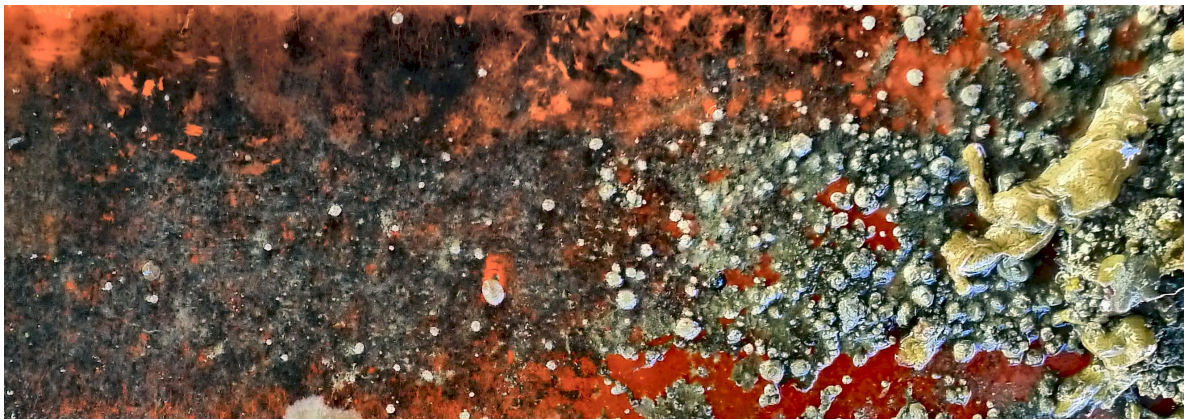
2 Bestimmung von Bewuchs-Regionen anhand von dominanten Bewuchsgemeinschaften

Untergetauchte Oberflächen werden im Süß- und insbesondere im Salzwasser rasch durch zahlreiche Organismen besiedelt. Ein typischer Besiedlungsverlauf von Bewuchs auf einem Schiffsrumpf, aber natürlich auch auf allen anderen Unterwasserflächen, lässt sich wie folgt beschreiben: Die Erstbesiedlung besteht aus Bakterien und es folgen Mikroorganismen (einzellige Algen, Tiere und Pilze). Durch die von den Mikroorganismen ausgeschiedenen Stoffe entsteht ein schleimartiger Film, der so genannte Biofilm, der schnell zu einer dicken Schicht anwachsen kann und auf die Larven und Sporen von Makroorganismen eine überwiegend anziehende Wirkung ausübt.

Die Sporen und Larven siedeln sich an und bilden oft dichte Aufwuchsgemeinschaften. Die Abfolge des Besiedlungsverlaufs lautet vereinfacht:

Organischer Film → Mikrobewuchs → Makrobewuchs (Abbildung 1)

Abbildung 1: Bewuchsentwicklung im Salzwasser, links beginnend mit einem Biofilm über zunehmenden Makrobewuchs, rechte Bildhälfte, aus z. B. Algen und Seepocken oder Muschel



Quelle: LimnoMar

Es wird vermutet, dass jede der vorhergehenden Phasen die nachfolgende stark beeinflusst, sie oftmals sogar erst ermöglicht.

Zum tierischen Makrobewuchs gehören Muscheln und Seepocken. Alle Bewuchsorganismen besitzen die Fähigkeit Exkrete herzustellen, die als Klebstoff wirken und sehr effektiv die Haftung auf einem Substrat gewährleisten. Hat sich der Bewuchs erst einmal festgesetzt, breitet er sich rasch am gesamten Bootsrumpf aus.

Zum pflanzlichen Makrobewuchs zählen Grün-, Rot- und Braunalgen (Süß- und Salzwasser) sowie Jochalgen (nur Süßwasser). Die Pflanzen entlassen Sporen ins Wasser, die teilweise aktiv eine Oberfläche aufsuchen können.

Die Masse und Geschwindigkeit, in der sich Bewuchs ansiedelt, ist regional und saisonal unterschiedlich. Man spricht auch von einem hohen Bewuchsdruck, wenn sich innerhalb kurzer Zeit ein starker Bewuchs entwickelt. Dies ist in nährstoffreichen, tropischen Gewässern ganzjährig der Fall. In den gemäßigten Breiten ist die Bewuchs-Entwicklung in den Wintermonaten weitgehend unterbrochen und setzt im Frühjahr mit Erreichen von ca. 10°C Wassertemperatur wieder ein. Im Sommerhalbjahr ist der Bewuchsdruck in den gemäßigten Breiten mit dem der Tropen vergleichbar. Allerdings verläuft die Bewuchsentwicklung nicht in jedem Jahr gleich. In manchen Jahren werden

sehr starke Larvenfälle einzelner Seepockenarten registriert, in anderen Jahren ist deren Larvenfall viel schwächer und andere Arten dominieren.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der sogenannte Bewuchsdruck eines Gewässers sich aus folgenden Komponenten zusammensetzt:

Als hoher Bewuchsdruck wird ein mit kalkschaligen Organismen durchsetzter Bewuchs bezeichnet, der sehr fest auf dem Rumpf haftet, großen Reibungswiderstand erzeugt und schwer zu entfernen ist. Diese Bewuchsgemeinschaft kann aus zahlreichen Organismen-Gruppen zusammengesetzt sein, es kann aber auch z.B. eine Monokultur von Seepocken oder Miesmuscheln diese harte Form hervorrufen.

Als mäßiger Bewuchsdruck wird eine Bewuchsgemeinschaft bezeichnet, die sich vielfältig oder auch mit wenigen Arten entwickelt von denen nur ein geringer Teil hartschalig ist und fest haftet. Die überwiegenden Bewuchsorganismen sind von weicher Konsistenz und haften nicht sehr fest.

Als schwacher Bewuchsdruck wird eine Bewuchsgemeinschaft bezeichnet, die kaum über das Stadium eines Biofilms, also eines Mikro foulings, hinausgeht, von Algen und jungen Muscheln durchsetzt sein kann, mit Schalen- oder Thalluslängen, die nicht über 4 – 5 mm hinausgehen. Zudem haften die Algen und Muscheln nicht sehr stark.

Für alle Bewuchsverhältnisse gilt im technischen Bereich, dass der Biofilm nicht als schwerwiegend erachtet wird und häufig vernachlässigt wird. Auf Sportbootbootrümpfen wird er dennoch von einigen Bootseignern als ungeliebtes ästhetisches Problem angesehen. Es muss aber betont werden, dass kaum ein Antifoulingprodukt, sei es biozidhaltig oder biozidfrei, in der Lage ist, die Bildung eines Biofilms zu verhindern.

Darauf aufbauend sollen regionale Bewuchsunterschiede herausgearbeitet werden und so Regionen gleichen oder ähnlichen Bewuchsdrucks definiert werden. Diese „Bewuchs-Regionen“ sollen v.a. privaten Sportbootbesitzern und –besitzerinnen die Möglichkeit geben, die lokalen Bewuchsbedingungen bei der Auswahl einer Antifoulingbeschichtung zu berücksichtigen. Für die Darstellung des Bewuchsdrucks wird vorgeschlagen, den regionalen Bewuchsdruck in verschiedenen Farben wie an einer Ampel in Rot, Gelb und Grün anzugeben (s.a. Kapitel 4).

2.1 Salzwasser

Salzwasser- bzw. mariner Bewuchs ist insbesondere durch das Vorkommen hartschaliger Organismen mit kalkhaltigen Strukturen auf der Körperoberfläche oder schützenden Wohnröhren gekennzeichnet. Gleichzeitig entwickeln Meeresorganismen durch die vorherrschenden Strömungen in Küstennähe und am Meeresboden spezielle Klebstoffe, mit denen sie sich sehr fest an den jeweiligen Untergrund anheften können. Beide Aspekte tragen dazu bei, dass mariner Bewuchs sowohl zu einem deutlich höheren Reibungswiderstand bei Fahrt führt, aber auch, dass diese Bewuchsgemeinschaften nicht einfach zu entfernen sind. Zu diesen hartschaligen Organismen gehören die Seepocken und Entenmuscheln, Miesmuscheln, Austern und Röhrenwürmer (s.a. Abbildung 2). Doch auch Organismen mit lederartiger Oberfläche und flexibler Körperform haften sehr fest und können alle anderen Organismen überwachsen. Algen können als Kieselalgen einen dichten Biofilm bilden, aber als Grün-, Braun- oder Rotalgen ebenso lange Fäden oder blattartige Formen annehmen, welche häufig sehr weich sind, aber ebenfalls mit ihren Ansatzstellen fest haften. Daneben treten Nesseltiere auf, die sich stark verzweigen können und so flach wachsende Netzwerke bilden. Ähnliche Wuchsformen bilden sogenannte Moostierchen, Schwämme und Pilze aus, die durch flach wachsende Kolonien mit glatter, schleimiger aber auch rauer Oberfläche gekennzeichnet sind.

Bei Booten, die gar nicht bewegt werden, können Korallentiere wie Seeanemonen oder Seerosen auftreten.

Alle marinen Bewuchsgemeinschaften bilden an der deutschen Nordseeküste schon nach wenigen Wochen eine dichte und raue Oberfläche auf Bootsrümpfen, welche die Fahrt verlangsamen, die Manövrierfähigkeit beeinträchtigen und somit die Sicherheit der Schiffsführung gefährden.

Abbildung 2: Die wichtigsten Bewuchsformen im Salzwasser

Die wichtigsten Bewuchsformen im Salzwasser

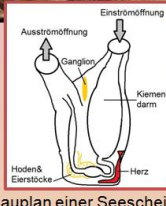
Seescheiden (Ascidia) Seescheiden ernähren sich wie eigentlich alle Tierarten, die hier vorgestellt werden, von Plankton, das sie aus dem Wasser herausfiltern. Das Wasser wird durch eine Mundöffnung eingesaugt, dann durch eine filternde Schleimschicht geführt und schließlich durch eine zweite Öffnung wieder herausgepumpt. Ihr natürliches Habitat ist die untere Gezeitenzone und das obere Sublitoral, da sie lange Trockenzeiten nicht überstehen können.



Ostasiatische Seescheide (Styela clava) Das keulenförmige Manteltier kann bis zu 12 cm groß werden. Der Körper besitzt einen lederartigen, warzigen Mantel. Sie heißt engl. deshalb auch „Leathery Sea Squirt“.



Sternseescheide (Botryllus schlosseri) Die Sternseescheide bildet in Kolonien große Überzüge auf Steinen, Algen, Muscheln, aber auch technischen Oberflächen. Die einzelnen Zooide (Einzel-Tiere, die in Kolonien leben) bilden sternförmige Muster.



Bauplan einer Seescheide.



Zitronen Seescheide (Molgula citrina) sackförmige bis zu 3 cm große Tiere.



Mäanderseescheide (Botrylloides leachi) bildet flächige, gelartige Überzüge von gelber, orange oder roter Farbe. Mehrere Individuen (Zooide) sind dabei in Kolonien organisiert und in einen gallertartigen lappenähnlichen Mantel eingebettet.

Schwämme (Porifera)



Brotkrumenschwamm (Halichondria panicea) Der Brotkrumenschwamm kommt in der Gezeitenzone recht häufig vor und kann bis zu 20 cm groß werden. Die kraterähnlichen Strukturen auf seiner Oberfläche dienen als Aus- und Einströmöffnung. Er besitzt einen strengen schwefeligen Geruch.

Polypentierchen (Hydrozoa)

Es gibt viele Arten, die aber auf Schiffen eher selten vorkommen, da sie sehr fragil sind und durch die Anströmung zerrissen werden.



Moostierchen (Bryozoa). Es gibt zwei Typen von Moostierchen: krustenbildende und gestielte aufrecht verzweigte Moostierchen.



Zottige Seerinde (Electra pilosa). Die 0,5 mm großen Zooide bilden als Kolonie krustenartige Überzüge auf Algen, Steinen Schiffsrümpfen etc.



Bugula fulva gehört zu den aufrecht verzweigten buschigen Moostierchen. Sie besiedeln u.a. Steine, Bojen und Schiffsrümpfe. Größe: 1-4 cm

Seeanemonen (Actinaria)

kommen in der Gezeitenzone vor und sitzen mit ihrem Haftfuß am Untergrund, auf dem sie sich aber kriechend bewegen können. Alle Seeanemonen sind Fleischfresser. Sie ernähren sich von kleinen Fischen und wirbellosen Tieren.



Witwenrose (Sagartia troglodytes)



Schlammrose (Sagartiogeton undatus)

Kalkröhrenwürmer (Serpulidae)



Dreikantwurm

(*Pomatoceros triqueter*) Größe: 1,5-5 cm

Kalkröhrenwürmer leben in Röhren aus selbst produziertem Kalk. Sie können sich nicht frei bewegen, sondern sind festsitzend an ihr Substrat (Untergrund) gebunden. Auch sie ernähren sich durch Filtration von Plankton. Oft siedeln sie auf Algen (besonders auf den mehrjährigen Fucus-Arten), Muschelschalen, Steinen oder auch auf Treibgut.

Posthörnchenwurm (Spirorbis spirorbis)

Durchmesser der Röhren 2-3 mm.



Flohkrebse (Amphipoda)

Zu den Flohkrebse gehört der an der Nordsee vorkommende **Schlickkreb** *Corophium volutator*. Er baut seine Wohnröhren normalerweise im Watt. Bei hohem Schwefelstoffgehalt im Wasser kann er auch auf künstlichen Substraten Wohnröhren anlegen. Diese sind allerdings fragil und werden bei Anströmung leicht wieder abgelöst.



Wohnröhren des Schlickkreb

Schiffsbohrmuschel (Teredinidae)

Die fälschlicherweise auch „Schiffsbohrwurm“ genannte Muschel *Teredo navalis* hat ihre Schalen zu einem Bohrkopf umfunktioniert. Der Weichkörper der Muschel ist von einer Kalkröhre geschützt, mit der sie die Bohrgänge im Holz auskleidet. Die Muschel bohrt sich in alle untergetauchten Holzbauten, was zu großen Problemen führen kann.



Kalkröhre und Muschelkörper.

Grünalgen (Chlorophyta)

Darm- oder Röhrentang (*Enteromorpha*)



Kleiner Darmtang (*Blindia minima*)



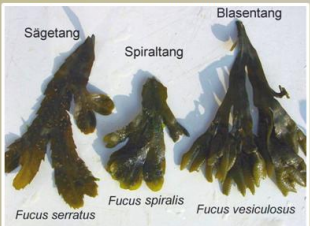
Meersalat (*Ulva lactuca*)



Grünalgen sind lichtabhängig und kommen deshalb nur im oberen Bereich vor. Es gibt viele Arten, die häufig nur unter dem Mikroskop bestimmt werden können. Im Schiffsbewuchs bereiten sie vielfach Probleme, da sie an ruhigen Sommertagen sehr schnell wachsen können und aufgrund ihrer gummiartigen Konsistenz z.B. mit Bürsten nur schwer zu entfernen sind.

Braunalgen (Phaeophyta)

Die Fucus-Braunalgen sind mehrjährige Arten, die häufig auf Hafenanlagen, aber selten auf Schiffen vorkommen.



Fucus serratus *Fucus spiralis* *Fucus vesiculosus*

Fucus-Arten der Nordsee

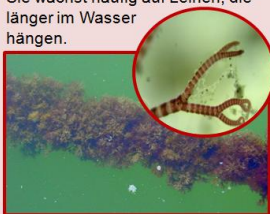
Felsen-Faseralge (*Ectocarpus siliculosus*)



Die Felsen-Faseralge ist eine typische Winterart, die im Frühjahr schnell von anderen Arten verdrängt wird.

Rotalgen (Rhodophyta)

Der **Rote Horntang (*Ceramium virgatum*)** ist eine ausdauernde Art, die in den Sommermonaten besonders reichlich vorkommt. Sie wächst häufig auf Leinen, die länger im Wasser hängen.



Entenmuscheln (Lepadidae)

(engl. „Goose barnacles“) gehören wie die Seepocken zu den Krebsartigen. Sie werden als Aufwuchs auf Treibgut aus dem Atlantik in die Nordsee verdriftet. Man findet sie am Nordseestrand deshalb häufig nach Stürmen auf Treibholz oder größerem Zivilisationsmüll.



Lepas anatifera

Miesmuschel (*Mytilus edulis*)



Byssusfäden

Die Schale wird bis zu 10 cm lang.

Muscheln (Bivalvia)

Miesmuscheln verankern sich mithilfe ihrer Byssusfäden fest auf allen Arten von Oberflächen wie z.B. Felsen, Schiffsrümpfen oder statischen Anlagen (Schleusentore).



Miesmuschelbank in der Nordsee

Pazifische Auster (*Crassostrea gigas*)



Die Auster verankert sich mit einer Schalenklappe fest am Substrat.

Die Schale wird bis zu 20 cm lang.

Juvenile Austern



Im Gegensatz zur Auster kann die Miesmuschel ihre Fäden lösen und bleibt beweglich. Die Auster ist irreversibel mit ihrem Untergrund verbunden.

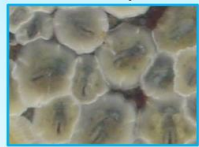
Seepocken (Balanidae)

Seepocken gehören zu den Krebstieren. Sie haben im Laufe der Evolution aber eine festsitzende Lebensweise entwickelt und besiedeln in großer Dichte jegliche Art von Hartsubstraten. Mit ihrem fächerartigen Rankenfuß filtern sie zur Nahrungsaufnahme Plankton aus dem Wasser. Es gibt mittlerweile fünf, teilweise eingewanderte Arten an der deutschen Nordseeküste. Drei davon sind häufig im Schiffsbewuchs:

Australische Seepocke (*Austrominius modestus*)



Charakteristisch für jede Art ist deren Haftscheibe (Basalplatte), mit der sie sich auf dem Untergrund verankert.



Dünne Membran bei *Austrominius modestus*.

Gekerbte Seepocke (*Balanus crenatus*)



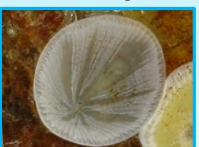
Balanus crenatus besitzt eine dicke verkalkte Basalplatte.



Brackwasser Seepocke (*Amphibalanus improvisus*)



Dünne Basalplatte von *Amphibalanus improvisus* mit Wagenradmuster.





Filterierende Seepocke mit Rankenfuß.

Lebenszyklus einer Seepocke



Die Seepockenlarve (Cyprislarve) sucht freischwimmend einen geeigneten Untergrund, auf dem sie sich niederlässt und zur adulten, festsitzenden Seepocke heranwächst.

Quelle: Desai et al., J. Mar. Biol. Assoc. UK. 2005. 85. pp. 909-920

Quelle: LimnoMar

2.2 Brackwasser

Der Brackwasserbewuchs ähnelt dem marinen Bewuchs sehr stark, zeichnet sich aber durch eine deutlich geringere Anzahl an Spezies aus, welche die im Brackwasser vorherrschenden oder stark schwankenden Salzgehalte tolerieren. Entsprechend finden sich fast alle Organismengruppen wie im Salzwasser, sind dort aber mit weniger Arten vertreten. Im Brackwasser kommt daher nur eine Seepockenart vor, nur zwei Muschelarten und wenige Nessel- und Moostierchen-Arten (Abbildung 3). Trotzdem können sich harte, festhaftende Bewuchsgemeinschaften bilden, die häufig nur aus einer Art oder wenigen Arten bestehen. So finden sich an Standorten wie Wieck/Greifswald oder Kiel in manchen Jahren reine Seepockengemeinschaften oder reine Miesmuschelgemeinschaften. Generell ist aber durch die geringere Artenzahl der Bewuchs nicht so üppig wie im marinen Bereich. Zudem kann der Bewuchs im Gegensatz zum marinen Bereich in seiner Ausprägung an identischen Orten von Jahr zu Jahr stark schwanken. Dieses liegt zum einen an der unterschiedlichen Zufuhr von salzreichem Wasser in den Wintermonaten, die auch auf die Salzgehalte an der Oberfläche einen Einfluss ausüben. Zudem kommt es generell von West nach Ost in der Ostsee zu einer kontinuierlichen Verringerung des Salzgehaltes, welches z.B. im Bottnischen Meerbusen zu Süßwasser ähnlichen Verhältnissen führt. Da zudem die Ostsee von zahlreichen Flüssen gespeist wird, tritt auch in den Ästuaren unabhängig von der Region eine Aussüßung auf. Wenn dies mit Einträgen von Nährstoffen aus der Landwirtschaft, Kläranlagen oder Grauwasser von Schiffen zusammenfällt, kommt es paradoxerweise zu sehr starkem Bewuchs, da sich die Leaching-Rate der biozidhaltigen Antifoulingprodukte mit sinkendem Salzgehalt vermindert, aber die Eutrophierung das Wachstum der Organismen fördert. So lässt sich feststellen, dass sich in der Ostsee der Bewuchsdruck von West nach Ost generell vermindert, es aber in einigen Ästuaren, in Deutschland Trave und Warnow, zu Bewuchs-Hot-Spots kommt.

2.2.1 Bewuchsdruck an der deutschen Ostseeküste und angrenzenden Gebieten

Die Ostsee ist u.a. durch die Besonderheit gekennzeichnet, dass die Salinität von West nach Ost abnimmt und sich dadurch die Zusammensetzung der Fauna und Flora von marinen Organismen im Kattegat über eine große Brackwasserregion in der zentralen Ostsee bis zu Süßwasser ähnlichen Verhältnissen im Bottnischen Meerbusen ändert. Dieses trifft für alle Lebensgemeinschaften zu und daher auch für das Benthos. Entsprechend machen sich die unterschiedlichen Salinitäten im Bewuchs und Bewuchsdruck bemerkbar. In Bezug auf benthische Invertebraten wurde daher die Ostsee in verschiedene Regionen in Abhängigkeit von der Salinität und der Struktur des Meeresbodens (Weich- oder Hartböden etc.) unterteilt. So hat Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission (HELCOM) im Hinblick auf die Abundanz der Invertebraten die Ostsee in verschiedene biologische Regionen unterteilt (HELCOM, 2009, 2012). Relevant für Deutschland sind die westliche und südliche Ostsee sowie die angrenzenden Gebiete in Richtung polnischer Küste.

In einer Auswertung von 500 Publikationen über Benthosorganismen zwischen der dänischen Küste ostwärts bis zur Swinemündung zwischen 1875 und 2004 (Zettler et al. 2004) stellten sich als dominante Arten, die auch für den Bewuchs relevant sind, folgende Arten heraus (Tab. 2).

In einer Untersuchung im östlichen Bereich der deutschen Ostseeküste auf einem künstlichen Riff vor Rostock konnten diese Befunde mit leichten Abweichungen bestätigt werden (Sandrock et al. 2002):

Diese Zusammensetzung wurde vielfach mit ebenfalls langen Zeitreihen in der Lübecker und in der Kieler Bucht bestätigt (Dürr & Wahl, 2010; Wahl et al. 2013). In einer 6 jährigen Studie mit 7 Stationen zwischen Kieler Bucht und Lübecker Bucht stellten sich mit jährlichen Schwankungen in der Dominanz folgende Hauptarten heraus (Tabelle 2).

Eine Studie im Peenestrom und im Kleinen Haff zeigte eine starke Reduzierung in der Biodiversität (Günther et al., 1995) mit folgenden dominanten Arten (Tabelle 2):

An der polnischen Küste in der Pommerschen Bucht (Chojnacki, 2000) auf einem künstlichen Riff traten wieder etwas mehr Benthosarten auf, aber deutlich weniger als in der westlichen Ostsee (Tabelle 2).

In zwei Studien in der Danziger Bucht auf statischen PVC-Platten (Dzibuńska & Janas, 2007; Dzibuńska & Szaniawska, 2010) traten neben den dominierenden Arten der Brackwasserseepocke (*Amphibalanus improvisus*) und der Miesmuschel (*Mytilus edulis*) folgende Arten auf (Tabelle 2).

Die bisherigen Erkenntnisse über den Bewuchsdruck an der deutschen Ostseeküste lassen sich wie folgt zusammenfassen.

- ▶ Der Bewuchsdruck schwächt sich von West nach Ost ab.
- ▶ Der Bewuchs ändert sich von marinen Arten zu Brackwasserarten oder sogar Süßwasserarten in den Haffs und Bodden.
- ▶ Die Diversität sinkt von West nach Ost, aber einzelne Arten wie Seepocken oder Muscheln können bis zur polnischen Grenze sehr hohe Dichten erreichen.

Tabelle 2: Regionaler Bewuchsdruck an der deutschen Ostseeküste

Organismen	Lübecker und Kieler Bucht	Rostock	Peene	Pommersche Bucht	Danziger Bucht
<i>Amphibalanus improvisus</i> (Cirripedia)	X	X		X	
<i>Clava multicornis</i> , <i>Laomedea flexuosa</i> (Cnidaria)	X				
<i>Membranipora crustulenta</i> (Bryozoa)	X				
<i>Mytilus edulis</i> , <i>Macoma balthica</i> (Bivalvia)	X	X	X	X	
<i>Polydora ciliata</i> , <i>Polydora ligni</i> , <i>Marenzelleria viridis</i> (Polychaeta)	X	X	X		
<i>Corophium volutator</i> (Amphipoda)	X	X	X		
<i>Electra pilosa</i> , <i>Alcyonidium gelatinosum</i> (Bryozoa)	X	X		X	X
<i>Coryne tubulosa</i> , <i>Hartlaubella gelatinosa</i> ,	X	X	X	X	X

Organismen	Lübecker und Kieler Bucht	Rostock	Peene	Pommersche Bucht	Danziger Bucht
<i>Cordylophora caspia</i> (Hydrozoa)					
<i>Cladophora</i> sp. (Chlorophyta)	X				X
<i>Ceramium strictum</i> , <i>Hildenbrandia rubra</i> , <i>Dasya baillouviana</i> , <i>Ceramium</i> spp., <i>Polysiphonia</i> spp., <i>Callithamnion</i> sp. (Rhodophyceae)	X	X			
<i>Ectocarpus siliculosus</i> , <i>Pilayella littoralis</i> (Phaeophyceae)		X			X
<i>Halichondria panacea</i> , <i>Halisarca dujardini</i> (Porifera)				X	

cit. op.

Abbildung 3: Die wichtigsten Bewuchsformen im Brackwasser

Die wichtigsten Bewuchsformen im Brackwasser

Miesmuschel (*Mytilus edulis*)



Die Miesmuschel besitzt eine blau/ schwarze Schale und verankern sich mit Hilfe ihrer Klebfäden (Byssusfäden) auf allen harten Oberflächen wie z.B. Bootsrümpfen und Hafenanlagen. Sie kommt vor allem in der westlichen und zentralen Ostsee vor.

Die Schale wird bis zu 10 cm lang

Muscheln (*Bivalvia*)



Zebra- oder Dreikantmuschel (*Dreissena polymorpha*)

Die Zebra- oder Dreikantmuschel besitzt eine keilartige, braun/ weiß gestreifte Schale. Auch sie heftet sich mit Klebfäden an alle festen Oberflächen an und ist daher auch auf Bootsrümpfen zu finden.

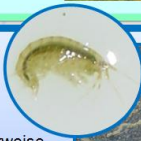


Die Schale wird bis zu 4 cm lang



Flohkrebse (*Amphipoda*)

Der **Schlamm-Strandfloh** (*Corophium volutator*) lebt in Wohnröhren, die er normalerweise im Schlamm aber auch auf festen Untergründen wie z.B. Bootsrümpfen baut. Seine weichen nicht festhaftenden Wohnröhren werden bis zu 1 cm lang und stellen für Bootsbesitzer kein großes Problem dar.



Wohnröhren des Schlickkrebbs

Grünalgen (*Chlorophyta*)

Darmtang (*Enteromorpha*) und **Astalge** (*Cladophora* sp.)



Grünalgen brauchen Licht und wachsen gerne direkt unterhalb des Wasserpasses. Als fädiger Bewuchs bereiten sie vielfach Probleme, da sie sehr schnell wachsen können, fest haften und auf Grund ihrer gummiartigen Konsistenz z.B. mit Bürsten nur schwer zu entfernen sind. Ihre Fäden können bis zu einem halben Meter lang werden.

Seepocken (*Balanidae*)

Die **Brackwasser-Seepocke** (*Amphibalanus improvisus*) und die **Gekerbte-Seepocke** (*Balanus crenatus*) gehören zu den Krebstieren. Sie leben festhaftend und besiedeln in großer Dichte jegliche harten Untergründe, wie Bootsrümpfe. Charakteristisch für die Brackwasser Seepocke ist ihre Haftscheibe (Basalplatte) mit fächerartigem Muster.



Typische Basalplatte



Festsitzende Seepocken

Rotalgen (*Rhodophyta*)

Der **Rote Horntang** (*Ceramium* sp.) ist ebenfalls eine fädige Alge, die auf Bootsrümpfen auch in tieferen Bereichen noch zu finden ist. Seine verzweigten Ästchen können bis zu 30 cm lang werden.



Schwämme (*Porifera*)



Der **Brotkrumenschwamm** (*Halichondria panicea*) kommt vor allem in der westlichen Ostsee vor und kann einen Durchmesser bis zu 20 cm erreichen. Er verklebt sich auf harten Untergründen, wie z.B. Bootsrümpfen, sehr fest und ist schwer zu entfernen.

Braunalgen (*Phaeophyta*)

Die **Felsen-Faseralge** (*Ectocarpus siliculosus*) bildet filzartige Büschel, die bis zu 30 cm lang werden können und sehr fest auf harten Untergründen, wie auch Bootsrümpfen haften. Sie kommt unterhalb der Wasserlinie aber auch in tieferen Bereichen vor und bildet raue, schwer zu entfernende Matten.



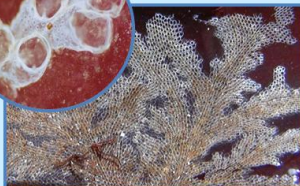
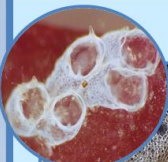
Polypentierchen (*Hydrozoa*)

Es gibt viele Arten, die ein verzweigtes Geflecht auf Bootsrümpfen bilden können. Ein Teil des Geflechtes kann an den Bootsrumpf angeheftet sein, ist aber leicht zu entfernen.



Moostierchen (*Bryozoa*)

Die **Krusten-Seerinde** (*Electra pilosa*) bildet krustenartige, flach wachsende Kolonien. Diese überziehen harte Untergründe, wie Bootsrümpfe. Ihre Haftung ist nicht sehr fest und sie kann somit leicht entfernt werden.



Seescheiden (*Ascidia*)

Die **Tangbeere** (*Dendrodoa grossularia*) besitzt einen lederartigen, rundlich bis birnenförmigen Körper und besiedelt in Gruppen feste Untergründe. Ihre Haftung ist sehr stark, dadurch ist sie schwer von Bootsrümpfen zu entfernen. Sie kann eine Höhe von bis zu 3 cm erreichen



Quelle: LimnoMar

2.3 Süßwasser

Da in der Regel der Kalkgehalt des Süßwassers deutlich geringer ist als im Seewasser, fällt die Anzahl der Kalkschalen- oder Gehäuse bildenden Organismen im Süßwasser deutlich niedriger aus als im marinen Bereich. Eine Ausnahme bilden in Deutschland die Voralpenseen, die durch die Schmelzwasser-Auswaschung in den Alpen einen relativ hohen Kalkgehalt aufweisen. Hier kommen aber nicht vermehrt kalkschaligen Organismen vor, sondern einige Arten versuchen aktiv den aufgenommen Kalk wieder aus ihren Körpern zu entfernen. Daher scheiden einige Algen den Kalk wieder aus und bilden dadurch eine harte Kruste auf natürlichen und technischen Oberflächen wie Boots-Rümpfen (Abbildung 4).

2.3.1 Bewuchsdruck Bodensee

1999 wurden im Auftrag des Bodensee-Segler-Verbands (BSVB) rund um den Bodensee unbeschichtete Platten ausgehängt, um den Bewuchsdruck repräsentativer zu erfassen. An 10 Häfen rund um den Bodensee wurden Kontrollplatten von 10 x 10 cm statisch exponiert

Hierbei traten hinsichtlich des Schiffsbewuchses mehrere problemreiche Organismengruppen auf. Hierzu gehörten in besonderem Maße kalkinkrustierende Grünalgen, die flächig wachsen, Polster oder Lager bilden. Diese waren besonders zum Ende der Bewuchssaison stark ausgebildet. Zu diesen Grünalgen gehören unter anderem die Polster Grünalge (*Gongrosira debaryana*) und die Borstenscheibe (*Chlorophyllum cataractum*) (s.a. Abbildung 4). Durch die Ausscheidung von Kalk erhält der Primärbewuchs eine harte, raue Oberfläche und besitzt zudem eine starke Haftung. Diese harten, krustenartigen Bewuchsgemeinschaften waren nur im Überlinger See nicht zu finden. Im Untersee/Seerhein waren sie nur gering ausgeprägt.

Des Weiteren fanden sich an fast allen Stationen fädige Grünalgen wie die Astalgen (*Cladophora spec.*). Die Fadenlänge dieser Algen übersteigt selten 10 mm, aber durch ihr oft knäuelartiges Erscheinungsbild, können sie watteartige Beläge bilden.

Die größten Bewuchsorganismen stellten die Zebamuscheln (*Dreissena polymorpha*) dar, welche besonders an den Seilen, aber auch an den Platten zu finden waren und Längen bis zu 15 mm erreichten. An allen Stationen konnten Zebamuscheln beobachtet werden. Die Bedeckungsgrade lagen überwiegend zwischen 3 – 8 %. Besonders starker Bewuchs mit Zebamuscheln trat im südlichen Obersee und im Überlinger See mit Bedeckungsgraden von 20 – 45 % auf.

Insektenlarven, wie die der Zuckmücken, waren an allen Stationen zu finden. Da sie in der Regel mit organischer Substanz (Detritus) bedeckt sind, erscheinen sie als kleine Streifen oder wurmförmige Strukturen. Ihre Haftung ist relativ gering. An mehreren Stationen traten Moostierchen auf, die weiche bis raue flächig wachsende Überzüge bilden. Ihre Haftung war in der Regel mäßig.

Darüber hinaus traten im Primärbewuchs regelmäßig Diatomeen und Schalenamöben auf, die den sogenannten Primärschleim oder die Mikrofoulingschicht bildeten. Auf diesen wuchsen die genannten flächig oder fädig wachsenden Grünalgen auf.

Die Haftung des Bewuchses auf den unbeschichteten Platten war auf den meisten Stationen stark, d.h. die Organismen konnten nur mit einem Spachtel oder rauem Schwamm (Scotch Brit) vollständig entfernt werden.

Neben ausgeprägten Biofilmen, die sich in zahlreichen Süßwassergebieten schnell bilden, aber in vielen Gewässern nicht von größeren Organismen überwachsen werden, finden sich zahlreiche kurzkettenartige und fädige Grünalgen, Zebamuscheln, Bryozoen (Moostierchen) und Schwämme.

2.3.2 Die Bewuchsproblematik durch Dreissenidae (Zebra- und Quagga-Muschel)

Das Vorkommen der Zebra- und Quagga-Muschel wird als das größte Bewuchsproblem im Süßwasser angesehen. Die Muschelart und ihre nahe Verwandte, die Quagga-Muschel, werden zwar nicht so groß wie die Miesmuschel und haften auch nicht so fest wie diese, können aber zu einer dichten Bewuchsgemeinschaft führen. Die Zebra- und Quagga-Muschel ist besonders in offenen Kühlsystemen von Industrieanlagen und Kraftwerken gefürchtet, wo niedrige Strömungen und erhöhte Temperaturen vorherrschen. Die Zebra- und Quagga-Muschel war ursprünglich in der Kaspischen Region beheimatet, hat sich aber insbesondere durch den Schiffsverkehr und den Bau von Kanälen in Westeuropa und auch in Deutschland so stark ausgebreitet, dass sie in fast jedem Süßgewässer und auch im Brackwasser zu finden ist. Eine Ausnahme macht nur der Dümmer, dessen Eutrophierung so stark ist, dass durch die immer wieder auftretenden Blaualgenblüten und deren freigesetzte Toxine die Zebra- und Quagga-Muschel seit einigen Jahren nicht mehr angetroffen wird.

2.3.2.1 Zebra- und Quagga-Muschel (*Dreissena polymorpha*)

Die Zebra- oder Dreikantmuschel zeichnet sich durch die charakteristische dreikantige, keilartige Form aus. Sie erreicht eine Länge von 26 - 40 mm bei einer Breite von 17 - 20 mm. Die Schalen sind dunkelbraun bis schwarz gefärbt, durchbrochen von hellbraunen Streifen, was zu einem mehr oder weniger zebraartigen Streifenmuster führt.

Die Wandermuschel, die präglazial in Mitteleuropa lebte, wurde durch die Eiszeiten gegen Süden verdrängt und wanderte im 19./20. Jahrhundert wieder über die Schifffahrtskanäle aus dem Schwarzmeerraum nach Mitteleuropa ein.

Aktuell ist *Dreissena* in allen deutschen Boddengewässern vertreten. Hierzu zählen auch das Stettiner Haff und das Oder Haff, wo sehr hohe Populationsdichten anzutreffen sind (Fenske, 2003; Werner et al. 2012). Auch im Peenestrom konnten Zebra-Muscheln beobachtet werden (Subklew & Tomaschky, 1953). Nicht immer begründete die neue Ansiedlung eine langfristig stabile Population. Daher konnte sich *Dreissena* z.B. in der Elbe aufgrund der Verschmutzung bis 1989 nicht dauerhaft etablieren (Kinzelbach, 1992). Erst ab 1989 trat *Dreissena* in der Elbe, besonders in der Unterelbe wieder massenhaft auf (Fenske, 2003; pers. Mitt. Watermann). In der mittleren Elbe oberhalb von Wittenberge bei Elbe-km 440,5 wurde 2002 das Vorkommen von *Dreissena* in einem Prallhangbereich am westlichen Ufer auf Bühnenfeldern nachgewiesen (Eggers, 2003). *Dreissena* ist ein sessile Filtrierer, der auf Festsubstraten mit Byssusfäden angeheftet ist. Sie findet optimale Wachstumsbedingungen in Seeabflüssen und Brandungszonen (Optimum bei > 11 °C). Zur Vermehrung müssen die Wassertemperaturen bei der Zebra- und Quagga-Muschel über 10 °C liegen (Rey et al. 2004), bei der Quagga-Muschel > 4 °C. Die Besiedlung der Fließgewässer erfolgt durch planktische Veliger-Larven, die über beträchtliche Strecken verdriftet werden können und so in Fließgewässern zur Verbreitung beitragen. Die bis zu 40 mm lange Art besitzt eine hohe Toleranz gegenüber Wellenschlag und bildet heute in fast allen deutschen Wasserstraßen große Bestände (Müller et al. 2004; Zettler et al. 2006).

Für die Weser und Unterweser existieren seit 1995 bis heute Befunde über ein Vorkommen von *Dreissena* (Busch et al. 1995; Scholle & Schuchardt, 1999).

Durch Anheftung an Hartsubstrate wie Boots- und Schiffsrümpfe können die Muscheln leicht in neue Gewässer verschleppt werden. Die Verbreitung erfolgte wahrscheinlich durch Wanderboote, an denen *Dreissena* angeheftet war. Nach einer Massenvermehrung während der 80er Jahre im Rhein und zuvor in den größeren Seen (Verstopfen von Wasserentnahmerohren) ging der Bestand wieder etwas zurück (Rey et al. 2004). Hinz und Wiersch (1993) berichteten von einem Vorkommen im Rhein-Herne Kanal in.

In den Berliner Gewässern ist *Dreissena* weit verbreitet und häufig im Havel-, Spree-, und Dahmesystem, ferner in schwach eutrophen Seen wie Schlachtensee und Groß-Glienicker See.

Im Bodensee wurde die Wandermuschel erstmals im Jahre 1969 nachgewiesen. Anfangs vermehrte sich die Muschel explosionsartig. Jedoch nahm die Population der Muschel in den folgenden Jahren stetig ab. Dies hing offensichtlich mit der steigenden Population der Wasservögel zusammen, welche die eiweißhaltigen Muscheln als Nahrung brauchen. In den Monaten Dezember, Januar und Februar wird ein Großteil der Population der Dreikantmuschel im Bodensee bis auf 8 m Tiefe aufgefressen. Walz (1992) schätzte dort die durchschnittliche Konsumption durch überwinternde Reiherenten (*Aythya fuligula*), Tafelenten (*Aythya ferina*) und Blässhühner (*Fulica atra*) auf 97 % der Dreissena-Population. Schon im Winterhalbjahr 2001/2002 wurden die Muscheln im Uferbereich zu über 90 % von Wasservögeln gefressen (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, 2002). Seitdem wird immer wieder festgestellt, dass im Bodensee die Population Prädatoren kontrolliert ist (Werner, 2004). So wurde für den gesamten Flachwasserbereich des Konstanzer-Trichters (1 km²) die Gesamtfrischmasse der Muscheln abgeschätzt. Diese Gesamtfrischmasse-Abschätzung ergab, dass etwa 4.500 nachts fressende Tauchenten und Blässhühner in 4 Monaten den Dreissena-Bestand um 750 t dezimieren – das entspricht > 95 % der im Herbst vorhandenen Muschelmasse. Diese Nutzung der Muscheln wiederholt sich alljährlich und beeinflusst die Altersstruktur und die Größenverteilung der Muscheln daher sehr stark. Vereinfacht sind in der Tiefe abhängig vom Prädationsdruck mehrjährige und größere Individuen vorhanden, während im Flachwasser nur einjährige Muscheln dominieren. Ein ähnlich hoher Prädatordruck kann für andere Gewässer nur vermutet werden, wenn dort tauchende Wasservögel in großer Zahl überwintern wie z.B. dem Ratzeburger See.

2.3.2.2 Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897)

Die Quagga-Muschel stammt ursprünglich aus dem nordwestlichen Teil des Schwarzen Meeres und dessen Zuflüssen (Orlova et al. 2004; Son, 2007). Die ersten Funde im Einzugsbereich des Rheins wurden im April 2006 dokumentiert und stammen aus dem Rheindelta in den Niederlanden. Angenommen wird ein Vorkommen seit 2004 (Molloy et al. 2007). Der erste Fund in Deutschland stammt aus dem Mai 2007, vom Main (Van der Velde & Platvoet, 2007). Im Oktober 2007 wurde die Art in 3 größeren Handelshäfen des Oberrheins festgestellt (Martens et al. 2007): Inselhafen Mannheim, Waldhofer Altrhein, Ölhafen Karlsruhe und im Rheinhafen Karlsruhe.

Die Art hat sich 2007 am Oberrhein in der Initialphase der Besiedlung befunden. Die ersten Fundorte waren große Häfen mit sehr hohem Frachtaufkommen. Damit muss man davon ausgehen, dass Binnenfrachtschiffe die Art am Oberrhein eingeschleppt haben. Das massive Aufkommen im Ölhafen von Karlsruhe, einem separaten Hafen, der ausschließlich von Tankschiffen befahren werden darf, wurde als ein klarer Hinweis auf Binnentanker von niederländischen Ölumschlagsplätzen als Vektoren angesehen (cit. op.).

Bereits 2008 wurde die Art im Aufwuchs am Rumpf von am Oberrhein verkehrenden Binnen-Frachtschiffen mehrfach und zum Teil in großer Dichte festgestellt. Die bereits mit Quagga-Muscheln besetzten Schiffe waren sowohl solche, die regelmäßig Rhein und Donau (Amsterdam/Rotterdam/Antwerpen - Donau, Rheindelta - Schwarzes Meer) oder ausschließlich den Rhein (Amsterdam - Basel) befuhren, als auch jene, die regelmäßig auf Mittelstrecke (Mainz - Basel) und Kurzstrecke (Heilbronn - Ludwigshafen) in der Oberrheinregion eingesetzt wurden.

Daher ist über diesen Eintragspfad mit einer raschen Invasion des Oberrheins und mit Funden auf Schiffen mittlerweile im gesamten schiffbaren Rhein, Main und Neckar zu rechnen. Die Quagga-Muschel entwickelt sich unter Stillgewässerbedingungen besser als in durchströmten Bereichen (Ackerman, 1999) und wird damit in Schifffahrtskanälen, in den aufgestauten Abschnitten von Main oder Neckar und in den an die großen Flüsse angeschlossenen Stillgewässern ideale

Entwicklungsbedingungen finden. In der Hauptrinne des Oberrheins bei Karlsruhe ist die Art bereits dominant (Stand: Oktober 2009, A. Martens, unveröff.).

Die Müritz ist mit 117 km² der größte Binnensee Norddeutschlands und gilt in den größten Teilen als ungeschichteter, mesotropher Klarwassersee. Sie ist Bestandteil des Bundeswasserstraßennetzes und ist damit unmittelbar an die Verbreitungswege durch die Schifffahrt angebunden. Nach dem Erstfund einzelner Schalen der Quagga-Muschel am SO-Ufer der Müritz im Juni 2014 bei Boek wurde zunächst in der Müritz nach weiteren Ansiedelungen gesucht. Dabei stellte sich heraus, dass die Quagga-Muschel bereits in großen Mengen in der Müritz vorkommt. Sie besiedelt dabei Hartsubstrate, aber auch Kolonien der dort schon verbreiteten Zebra-Muschel (*Dreissena polymorpha*). Bisher wurde sie in Mecklenburg-Vorpommern an folgenden Gewässerabschnitten gefunden: Boek, Waren, Rechlin, Müritzhof, Kolpinsee Klink, Fleesensee Nossentin, Plauer See Appelburg, Schweriner See Hohen Viecheln, Mueß, Raben Steinfeld, Müritz-Elde-Wasserstraße Plau am See.

Die ersten Funde aus dem Oderhaff, Ückermünde und Mamminke zeigen an, dass die Quagga-Muschel auch das Einzugsgebiet der Ostsee erreicht hat.

Im Süden Deutschlands scheint die Einschleppung vor allem durch den Main-Donau Kanal ermöglicht worden zu sein: Hier wurde seit 2008 von folgenden Fundstellen berichtet: Leerstetten-Eckersmühlen, Eckersmühlen-Hilpoltstein, Ottmaring Berching-Dietfurt, Riedenburg (Altmühl), Main bei Hanau (Postler et al. 2010; bij de Vaate, 2010)

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass ein Bewuchsdruck durch Dreissenidae in allen deutschen Gewässern besteht, bis auf den Dümmer, wo die letzte lebende *Dreissena* vor 30 Jahren gesichtet wurde (Niedersächsisches Landesamt für Wasserbau, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), 2011).

2.3.3 Süßwasserschwämme (Spongillidae)

Ein weniger gravierendes Problem rufen Schwämme hervor, die zwar relativ flach wachsen, aber sehr fest haften können. Sie kommen insbesondere in Gewässern mit geringer Strömung wie Kanälen und auf Booten vor, die wenig bewegt werden.

In europäischen Süßwassergebieten konnten ca. 20 Arten gefunden werden, davon werden in Deutschland 10 Arten angetroffen. Hiervon finden sich ca. 4 auf Booten und Schiffsrümpfen. Da die Bestimmung der Schwammarten nicht ganz einfach ist, bleibt die Beschreibung häufig auf der Ebene der Familie stehen. Schwämme sind vielzellige Tiere, die keine speziellen Organe bilden, sondern ihre Lebens-Funktionen durch spezialisierte Zelltypen ausführen. Sie können sich im erwachsenen Zustand nicht fortbewegen und haften sich auf festen Untergründen wie Steinen, Spundwänden und Bootsrümpfen an. Hierbei ist ihre Haftung sehr stark und sie können einige Oberflächen enzymatisch angreifen und so ihre Haftung verstärken. Ihre Wuchsform schwankt von Bäumchen artig verzweigt bis krustenartig flach wachsend. Ihre Farbe erhalten sie durch aufgenommene Algen. So sind Farbe und Form nicht zur Bestimmung geeignet (Eggers & Eiseler, 2007). Die häufigsten Arten, die bisher auf Bootsrümpfen gefunden und bestimmt wurden, sind:

- ▶ Klumpenschwamm (*Ephydatia fluviatilis*)
- ▶ Bruchschwamm (*Eunapius fragilis*)
- ▶ Geweihschwamm (*Spongilla lacustris*)

In Deutschland wurden bisher Schwämme vor allem in Schifffahrtskanälen und im Bereich von Schleusen nachgewiesen. Bisherige Beschreibungen liegen für folgende Kanäle vor (Eggers, 2001):

- ▶ Stichkanal Salzgitter (Mittellandkanal)
- ▶ Mittellandkanal Celle und Braunschweig
- ▶ Rhein-Herne Kanal

- ▶ Rheinhafen Duisburg-Ruhrort
- ▶ Elbe-Havel Kanal

In eigenen Untersuchungen wurden Schwämme auf Bootsrümpfen und ausgelagerten Platten im Ratzeburger See, im Dümmer, im Bodensee, Radolfzell und im Tonnenhafen, Wedel Unterelbe angetroffen.

2.3.4 Nesseltiere und Moostierchen (Hydrozoen und Bryozoen)

Nesseltiere und Moostierchen stellen weitere wichtige Gruppen des Süß- und Brackwasserbewuchses dar. Sie wachsen zwar relativ flach, können aber die Rümpfe mit dichten Geflechten oder gallertartigen Überzügen bedecken.

Unter den Hydrozoen (Nesseltiere) ist der Keulenpolyp (*Cordylophora caspia*) die wichtigste Art, die wie die Zebramuschel aus dem Kaspischen Meer eingewandert ist. *Cordylophora* kommt in fließenden und stehenden Gewässern vor, besiedelt Hartsubstrate wie Steine, Pfähle und Spundwände im Süß- und Brackwasser. Die Einschleppung erfolgte über Schiffsrümpfe und wurde über den Bau von Kanälen stark begünstigt. Inzwischen kann *Cordylophora* in allen Wasserstraßen in Deutschland angetroffen werden und ist auch in den großen Ästuaren stark vertreten (Arbeitsgemeinschaft Elbe (ARGE) 1998; Tittizer, 1995).

Die stark verzweigten, rauen Geflechte des Polypen haften nicht sehr fest und können leicht mechanisch von Bootsrümpfen entfernt werden.

Unter den Bryozoen (Moostierchen) stellen *Pectinatella magnifica*, *Plumatella emarginata* und *Cristatella mucedo* die wichtigsten Arten dar, welche im Süßwasser von Bedeutung sind.

Das Schwammartige Moostierchen *Pectinatella* stammt aus Nordamerika und wurde in Deutschland erstmals 1883 in der Bille bei Hamburg nachgewiesen, danach 1902 in der Havel nördlich von Spandau, 1905 in der Oder bei Frankfurt sowie 1905 und 1906 in der Berliner Oberhavel und oberhalb des Tegeler Sees. Seit 2003 wird das Schwammartige Moostierchen regelmäßig ebenfalls im Einzugsgebiet der Elbe nachgewiesen. Weitere aktuelle Fundmeldungen aus Deutschland liegen vom Oberrhein vor. In der Oder wurde die Art 1996 zwischen Küstrin und Hohensaaten angetroffen (Wolter, 2010).

Sie können die Rümpfe mit flachen, gallertartigen Kolonien überziehen und werden von anderen Organismen nicht überwachsen. Die Haftung ist nicht sehr fest, aber durch ihre flexible Körperstruktur sind sie nicht einfach zu entfernen, sondern müssen abgeschabt werden.

Abbildung 4: Die wichtigsten Bewuchsformen im Süßwasser

Die wichtigsten Bewuchsformen im Süßwasser

Zebra- oder Dreikantmuschel (*Dreissena polymorpha*)

Die Zebra- oder Dreikantmuschel besitzt eine keilartige, braun/ weiß gestreifte Schale. Ihre nahe verwandte, die Quagga-Muschel hat eine ähnliche Schale, aber ohne die charakteristischen Streifen. Beide heften sich mit ihren Klebfäden (Byssusfäden) an alle festen Oberflächen an und ist daher auch auf Bootsrümpfen zu finden.

Sie erreicht ein Alter von bis zu 10 Jahren und ist nach einem Jahr geschlechtsreif

Die Schale wird bis zu 4 cm lang



Schwämme (*Porifera*)

Der **Geweihschwamm** (*Spongilla lacustris*) ist schleimig, meist sehr weich und kann grasgrün, gelblich,

weiß-grau bis braun aussehen. Er verklebt sich gerne auf harten Untergründen, wie Pfähle, Schiffstege und Bootsrümpfen. Er wächst bereits knapp unter der Wasseroberfläche und bis in einer Tiefe von ca. 20 Metern.



Grünalgen (*Chlorophyta*)

Astalge (*Cladophora* sp.)

Polster Grünalge (*Gongrosira* sp.)



Grünalgen brauchen Licht und wachsen gerne direkt unterhalb des Wasserpasses. Als fädiger Bewuchs bereiten sie vielfach Probleme, da sie sehr schnell wachsen können, fest haften und auf Grund ihrer gummiartigen Konsistenz z.B. mit Bürsten nur schwer zu entfernen sind. Ihre Fäden können bis zu einem halben Meter lang werden.

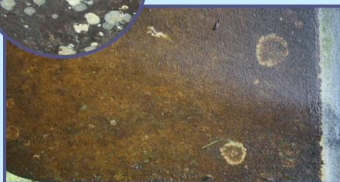
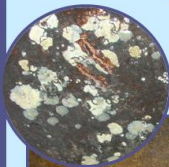
Moostierchen (*Bryozoa*)

Gallert-Moostierchen (*Cristatella mucedo*)

Gekieltes-Moostierchen (*Plumatella emarginata*)

Das **Gallert-Moostierchen** bildet schneckenlaich- bis bandartige Kolonien. Das **Gekielte-**

Moostierchen bildet verzweigte oder rasenartig oder kompakt knollige Kolonien. Sie überziehen harte Untergründe, wie Bootsrümpfe. Ihre Haftung ist nicht sehr fest und sie können somit leicht entfernt werden.



Kieselalgen (*Diatomea*)

Kieselalgen bilden bräunliche, flach wachsende und festhaftende Überzüge. Einzelne Arten können auch bäumchenartig auswachsen.



Sie stellen den Hauptanteil im Biofilm auf Bootsrümpfen dar.

Polypentierchen (*Hydrozoa*)

Süßwasserpolyp (*Hydra* sp.)

Brackwasserpolyp (*Cordylophora caspia*)

Es gibt viele Arten, die ein verzweigtes Geflecht auf Bootsrümpfen bilden können, welches aber leicht zu entfernen ist. Der Polyp klebt sich mit seiner Fußscheibe an feste Untergründe.



3 Vorstellung der Datenbasis für das Gutachten

Es liegen Bewuchsanalysen von verschiedenen Standorten in Deutschland vor. Die Daten stammen aus Forschungs-Projekten, die im Zeitraum von 1997-2000 durchgeführt wurden, sowie aus einem Projekt mit dem Deutschen Seglerverband (DSV) aus dem Jahr 2008. Zudem hat LimnoMar aus zahlreichen nationalen und europäischen Forschungsprojekten aktuellere Bewuchsdaten aus zahlreichen Gewässern in Deutschland, die in die Beurteilung der jeweiligen Region einfließen.

Im Folgenden sind die wichtigsten Forschungsprojekte aufgelistet, in denen Bewuchsdaten erfasst wurden:

- ▶ EU-Projekt CHANGE, Changing antifouling practices for leisure boats in the Baltic Sea, BONUS, 2014 -2017 (www.changeantifouling.com).
- ▶ Watermann, B., Wohler, B., Daehne, B., D. Daehne, Thomsen, A., Janson, P., Fürle, C. (2016), Abschlussbericht zum DBU Projekt AZ 32413/01. „Erprobung von Reinigungsverfahren für biozidfreie Unterwasserbeschichtungen an Sportbooten in Modellregionen: Unterweser, Dümmer, Ratzeburger See, Zeuthener See“, 95 S.
- ▶ Daehne, B., Watermann, B., Fürle, C., Daehne, D., Thomsen, A. (2014), Abschlussbericht zum DBU – Projekt AZ 29523-31. „Erprobung von Reinigungsverfahren der Unterwasserbereiche von Sportbooten und küstenoperierenden Schiffen als Bewuchsschutz-Alternative- Materialbelastung, Effektivität und Gewässerbelastung“, 159 S.
- ▶ Pilot Studie zur Entwicklung von Reinigungsverfahren zur Bewuchskontrolle auf Fähren im Hamburger Hafen. Gefördert durch: WWF und Umweltbehörde Hamburg. 1998, 105 S.
- ▶ Untersuchung und Entwicklung von Reinigungstechniken zur Bewuchsverhinderung auf Sportbootrümpfen als Alternative zu biozidhaltigen Antifoulingbeschichtungen. Projektpartner: Fraunhofer Institut für Angewandte Prozesstechnik, Stuttgart. Gefördert durch: Umweltbundesamt Berlin, 1996-1999.
- ▶ Natürliche Biozide und biozidfreie Beschichtungen, ihre Effektivität und Applizierbarkeit auf Sportbooten (1994). Projektpartner: Zoologisches Institut der Universität Hamburg. Gefördert durch: Umweltbundesamt Berlin, 1992-1993. Texte UBA 55/94, 229 S.
- ▶ Watermann, B., N. Peters & V. Schacht (1990). Effektivität und Notwendigkeit von Antifoulinganstrichen auf Sportbooten in Binnengewässern. Texte UBA 40/90, 171 S.

Die Mehrzahl der bisher vorliegenden Daten stammen aus einer konzentrierten Aktion von LimnoMar und dem Deutschen Segler Verband. Der DSV förderte von 1997 bis 2001 und von 2007 bis 2008 die Aushängung von Kontrollplatten in Vereinshäfen zur Bestimmung des lokalen Bewuchsdrucks. Hierdurch wurde der Grundstein für die Anfänge eines Bewuchs-Atlas für deutsche Gewässer gelegt. Die Ergebnisse wurden von 1997 bis 2017 auf der Homepage des Bewuchs-Atlas e.V. und von LimnoMar verbreitet.

Abbildung 5: Bewuchs-Kontrollplatten



PVC-Testplatten, die für Auslagerungen verwendet wurden. Quelle: LimnoMar

3.1 Identifizierung von Datenlücken

Aus der Tabelle 2 (siehe auch Stationsliste im Anhang) geht hervor, dass die Datenlage in den verschiedenen Gewässerregionen sehr heterogen ist. Für die Nordsee- und Ostseeküste liegen so umfangreiche Daten vor, dass diese für diese beiden Regionen als repräsentativ angesehen werden können. Für alle anderen Regionen muss die Datenlage bisher als punktuell eingestuft werden. Dennoch können auch für viele Süßwasserreviere repräsentative Aussagen getroffen werden, da wie oben dargestellt, in jedem Gewässer bis auf die genannten Ausnahmen mit Zebra- oder Quaggamuschneln gerechnet werden muss, die zu den problematischen Bewuchsorganismen gehören. Unter dieser Voraussetzung besteht daher nicht die Notwendigkeit, alle Lücken zu füllen, um Bewuchsschutz-Empfehlungen formulieren zu können.

Hinsichtlich der Aussagekraft von älteren Daten ist die kurzfristige und langfristige Änderung der Bewuchs-Zusammensetzung und des Bewuchsdrucks zu berücksichtigen. So kann kurzfristig von Jahr zu Jahr z.B. an der Ostseeküste eine Dominanz von Seepocken oder von Miesmuscheln festgestellt werden. In manchen Jahren kann ein Seepockenbewuchs auch völlig ausbleiben, wenn z.B. die Larven seewärts getrieben wurden. Wie die Erfahrung aus langjährigen, eigenen Untersuchungen zeigt, kann der Bewuchs von Jahr zu Jahr in der Zusammensetzung schwanken, welches durch die jeweils in dem Jahre der Untersuchung vorherrschenden Strömungen verursacht wird. Die planktischen Larven von Benthosorganismen können so aus dem Hafen heraus getrieben oder aber von außen Larven in das Hafenbecken hineingetrieben werden. Hinzu kommen sehr heterogene Strömungen im Hafen, so dass Fälle bekannt sind, dass mehrere nebeneinanderliegende Boote völlig unterschiedlichen Bewuchs zeigen können. Daher hat sich zur Beurteilung des Bewuchsdrucks für jedes Boot immer mehr das Aushängen von Kontrollplatten am Liegeplatz durchgesetzt. Nur so kann für jedes Jahr der aktuelle Bewuchsdruck am Boot sicher bestimmt werden.

Hieraus ist zu schließen, dass bei den Bewuchsschutz-Empfehlungen immer der maximal mögliche Bewuchsdruck anzunehmen ist. Ähnliches gilt für diejenigen Süßwasserbereiche, in denen im Beprobungsjahr keine Dreissena-Muscheln angetroffen werden, es aber aus der Literatur bekannt ist, dass sie dort vorkommen. Auch hier ist in der Bewuchsschutz-Empfehlung dieses Potenzial aufgenommen worden.

Hinsichtlich der langfristigen Änderungen des Bewuchsdrucks kommen vor allem Änderungen in der Salinität des Gewässers, Änderungen in der Trophie oder Änderungen in der Strömung des Gewässers in Frage. So wird z.B. durch die fortschreitende Vertiefung der Ästure von Weser und Elbe die Salz- und Brackwasserzone immer weiter landeinwärts verschoben. In Flussmündungsgebieten ist teilweise mit hohen Nährstofffrachten zu rechnen, die zu üppiger Blüte des Planktons und auch des Benthos führen. Damit der Verringerung der Salinität auch die Leaching-Raten der biozidhaltigen Antifouling Beschichtungen sinken, ist deren Effektivität in den Ästuaren eingeschränkt. Daher werden diese häufig als „Hot Spot“ des Bewuchsdrucks angesehen (s.a. Kapitel 5.2). Kommt es zur Verminderung der Einträge aus Landwirtschaft und häuslichen Abwässern, kann sich die Situation stark verbessern, im Sinne einer Verringerung des Bewuchsdrucks. Beispiele mit hohem Bewuchsdruck durch Eutrophierung sind z.B. Travemünde und Warnemünde. Beispiel für eine Reduktion der Trophiestufe bis hin zur Oligotrophie mit Klagen über ein zu geringes Planktonaufkommen ist der Bodensee.

An der deutschen Nordseeküste sind begünstigt durch den Klimawandel und die Verschleppung durch die Schifffahrt oder Marikultur in den letzten 20 Jahren Neozoen festzustellen, die für den Bewuchs relevant sind. Hierzu gehören z.B. die Pazifische Auster, die Leder-Seescheide und die Gestreifte Seepocke.

Aus den genannten Gründen folgt, dass zur Beurteilung der Validität älterer Daten geprüft werden muss, ob sich entscheidende Faktoren zur Beeinflussung der Benthosgemeinschaft in den letzten 20 Jahren an dem jeweiligen Standort verändert haben. Zu den relevanten Faktoren gehören die Trophiestufe, Änderungen in der Schadstoffbelastung, wasserbauliche Maßnahmen und auch die Invasion fremder Arten durch Verschleppung und Klimawandel (Nehring et al. 2009).

In der Synopse der bisher gesammelten Daten, welche für 1988 bis 2017 und an einigen Stationen für mehrere Jahre vorliegen, kann für die meisten Standorte gesagt werden, dass valide Daten vorliegen, für die immer noch zuverlässige Bewuchsschutz-Empfehlungen ausgesprochen werden können.

4 Typisierung der Regionen gleichen Bewuchsdrucks nach dem Ampelsystem

Aus den oben ausgeführten Charakterisierungen des Bewuchses in Salz-, Brack- und Süßwasser folgt, dass es keine Gewässer-Region gibt, in dem ein Bewuchsschutz völlig entbehrlich wäre. Stattdessen sollten immer auf den jeweiligen Bewuchsdruck und die typische Bewuchs-Zusammensetzung abgestufte Maßnahmen getroffen werden, um die Rümpfe der Boote von Bewuchs frei zu halten. Wie oben ebenfalls ausgeführt, geht es hierbei vor allem um das Makrofouling also den Bewuchs mit größeren Organismen. Es geht nicht um die Verhinderung eines Biofilms, der im leichtesten Fall nur zu einer Verfärbung der Unterwasserfläche führt und im gravierendsten Fall aus einer dicken schleimigen Schicht besteht.

Auf Grund der Bewuchssituation in den identifizierten Regionen werden allgemein gehaltene, regionale Bewuchs-Schutzempfehlungen vorgeschlagen. Diese Empfehlungen enthalten Konzentrationsschwellenwerte oder Leaching-Raten-Begrenzungen für biozidhaltige Produkte. Zudem sollen entsprechend dem regionalen Bewuchsdruck biozidfreie Bewuchsschutz-Verfahren und – Beschichtungen genannt werden, die einen ausreichenden Schutz gewähren.

Generell kann aber auf Grund der Innovationen im Bewuchsschutz der letzten Jahre festgestellt werden, dass es für alle Gewässertypen ausreichend wirksame biozidhaltige und biozidfreie Verfahren gibt. Es gilt also nicht mehr je stärker der Bewuchsdruck ist, umso mehr Biozide oder ausschließlich Biozide müssen eingesetzt werden.

Die deutsche Ostseeküste weist einen von West nach Ost leicht abfallenden Bewuchsdruck auf, wobei auch noch bis zur polnischen Grenze Seepocken und Miesmuscheln hartschalige Krusten bilden, die von Jahr zu Jahr mit wechselnder Dominanz auftreten können. Zudem existieren an der deutschen

Küste Bewuchs „Hot Spots“ in Travemünde, in der Warnow-Mündung, dem Strelasund und der Ryck-Mündung vor Greifswald. Bei einer Klassifizierung entsprechend dem Bewuchsdruck erhält diese Region die Farbmarkierung **GELB**, wobei die genannten „Hot Spots“ mit **ROT** gekennzeichnet werden müssen.

Die deutschen Binnengewässer weisen zwar ubiquitär hartschalige Organismen wie die Zebra- und Quaggamuschel auf, doch ist der Bewuchs insgesamt als deutlich weniger rau und weniger fest haftend einzustufen, sodass eine Klassifizierung in der Farbmarkierung **GRÜN** gerechtfertigt erscheint.

Weitaus komplexer ist die Zuordnung von adäquaten Bewuchsschutzverfahren zu diesen Klassifizierungen. Inzwischen gilt durch die technische Entwicklung nicht mehr, dass bei dem starken, marinen Bewuchsdruck nur Biozid-Verfahren einen Schutz bieten, da auch einige Systeme ebenso im Salzwasser wirksam sind. Zudem bieten z.B. die Antihalt-Folien und -beschichtungen auf Silikonbasis den Vorteil, dass sie in allen Gewässertypen und Bewuchsregionen wirksam sind, da sie ohne eine Leaching-Rate wirksam sind. Daher können für alle Bewuchsregionen angepasste biozidfreie Verfahren empfohlen werden (Tabelle 2).

Für die biozidfreien Verfahren gibt es inzwischen eine Fülle von Wirksamkeitsnachweisen im Süßwasser und auch in Bewuchs schwachen Brackwasserregionen wie der östlichen und nördlichen Ostsee. Als im April 1999, also vor fast 20 Jahren, die Wakenitz-Verordnung für den Ratzeburger Seen in Kraft trat, wodurch biozidhaltige Bewuchsschutzverfahren auf diesen Seen verboten wurden, erregte dieses Verbot anfangs starke Proteste in Sportbootszene bis zu Klagedrohungen gegen die politisch Verantwortlichen. Doch schon nach einem Jahr wurden mit den damals auf dem Markt befindlichen Produkten und Verfahren zufriedenstellende Ergebnisse erzielt, die bis heute selbstverständlich geworden sind. Trotz dieses Ergebnisses blieb die Wakenitz-Verordnung bis heute ein Einzelfall, der in keinem Bundesland nachvollzogen wurde, obwohl der Bewuchsdruck in den lokalen Gewässern es zugelassen hätte und inzwischen eine größere Fülle an Verfahren zur Verfügung steht. Nach dem Bewuchsdruck zu urteilen, hätte inzwischen für alle Seen Schleswig-Holsteins und Niedersachsens eine entsprechende Verordnung erlassen werden können, und auch für die Gewässer der Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Berlin, Brandenburg, Hessen, Thüringen und Rheinland-Pfalz wäre dieses ohne Probleme möglich.

Vorbehalte mit einer gewissen Begründung gibt es für die kalkreichen Voralpenseen, in denen insbesondere Algen den überschüssigen Kalk ausscheiden und harte Krusten bilden können. Dennoch könnte auch hier ein vorsichtiger Umstieg auf biozidfreie Methoden vollzogen werden, also in den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg.

Es wird in Zukunft unabhängig von der Umsetzung der Biozid-Verordnung in dem Ermessen der Bundesländer liegen, auf dem Hintergrund der Sensibilität ihrer Gewässer Einschränkungen, Übergangsregelungen und/oder Verbote auszusprechen. Es sei in diesem Zusammenhang auch daran erinnert, dass in den skandinavischen Ländern Dänemark, Schweden und Finnland seit 1999 im Süßwasser sowie im gesamten Bottnischen Meerbusen biozidhaltige Produkte verboten sind. Diese Verbote werden zu gewissen Anteilen unterlaufen (Ytreberg et al. 2016), aber sie haben zu neuen Produkten auf dem Markt geführt, die auch in Deutschland gut eingeführt sind. Zudem gibt es in einigen skandinavischen Ländern wie Dänemark und Finnland Längen- und Gewichtsbegrenzungen für Boote die mit biozidhaltigen Antifoulingprodukten beschichtet werden dürfen. In Dänemark sind für Jollen mit einem Gewicht < 200 kg Biozid-Produkte verboten, wenn sie nicht im Salzwasser liegen. In Schweden wird diskutiert, für Boote unter eine Länge von 8 m keine Biozidprodukte zu erlauben (<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=165488>).

Aus den obengenannten Gründen kann die Einteilung in Bewuchsregionen in folgender Weise mit Bewuchsschutz-Empfehlungen verknüpft werden:

- ▶ **ROT** (Salzwasser) Biozidhaltige Produkte mit Hersteller-Empfehlung für den Einsatz bei starkem Bewuchs im Salzwasser ebenso wie für das Salzwasser geeignete biozidfreie Verfahren wie Antihafthüllen, -beschichtungen und Hebeanlagen.
- ▶ **GELB** (Brackwasser) fast alle biozidfreie Verfahren bieten einen ausreichenden Bewuchsschutz sowie Biozid-Produkte mit einer Hersteller-Empfehlung für den Einsatz in Gebieten mit mäßigem Brackwasserbewuchs
- ▶ **GRÜN** (Süßwasser) Alle biozidfreien Verfahren und Systeme können sofort oder in problematischen Gewässern wie z.B. den Voralpenseen nach einer Übergangs- und Erprobungsphase für das jeweilige Gewässer eingesetzt werden. Biozid-Produkte mit einer Hersteller Empfehlung für das Süßwasser sind kurzfristig bzw. längerfristig entbehrlich.

Tabelle 3: Biozid- (B) und Biozidfreie (A) Bewuchsschutz-Systeme

Verfahren	Salzwasser	Brackwasser	Süßwasser
Biozid-Beschichtungen B	x	x	°x
Anti-Haft-Besch. A	x	x	x
Anti-Haft-Folie A	x	x	x
Unterwasserfolie A	x	x	x
Raufolie A	*ng	x	x
Reinigf-Beschichtg. A	x	x	x
Hand-Reinig. A	*ng	x	x
Hebeanlagen A	x	x	x
Reinigungsanlagen A	x	x	x

*ng = nicht geeignet, ° = in manchen Gewässern verboten, Quelle: LimnoMar

5 Bewuchsschutz-Systeme und Empfehlungen zu ihrem Einsatz

Die in der Schifffahrt und im Sportbootbereich vorherrschenden Bewuchsschutz-Systeme basieren auf Beschichtungen, die jährlich oder alle zwei Jahre erneuert werden. Bis auf die Bereiche, für die die Wakenitz-Verordnung gilt, sind in Deutschland schätzungsweise 95 % biozidhaltige Produkte in Gebrauch. Biozidfreie Systeme stellen bisher einen Nischenbereich dar. Die Beschichtungen werden ebenfalls hochgradig, zu schätzungsweise 90 %, in „do it yourself“ Verfahren mit Pinsel und Rolle aufgebracht (Martin et al. 2018). Alle biozidhaltigen Produkte bestehen aus Beschichtungen, die bei Hartantifouling-Produkten durch Diffusion der Biozide, bei erodierenden und polierenden Produkten durch die kontinuierliche Auflösung des Bindemittels in das Wasser abgegeben werden. In der Regel ist ihre Wirksamkeit für eine Saison ausreichend, aber es ist sehr verbreitet trotz der hohen Preise zu viele Lagen der Beschichtungen aufzutragen in dem Glauben die Wirksamkeit zu erhöhen (Eklund & Watermann, 2018).

Im Gegensatz zu den Biozidprodukten unterteilen sich die biozidfreien Systeme in Beschichtungen und sehr verschiedene Vorrichtungen. Bei vielen ist eine Aktivität der Bootseigner während der Saison vonnöten. Daher bestehen nicht nur hinsichtlich ihrer Wirksamkeit Bedenken gegenüber biozidfreien Verfahren, sondern auch hinsichtlich des notwendigen persönlichen Einsatzes (Wrange et al. 2018).

Im Folgenden sind die wichtigsten biozidfreien Verfahren und biozidhaltigen Beschichtungen aufgelistet, die im Sportbootbereich eine Rolle spielen:

Kategorie A Biozidfreie Verfahren und Beschichtungen

- ▶ Antihaftbeschichtungen und -Folien
- ▶ Erodierende Beschichtungen ohne toxische Zusätze
- ▶ Reinigungsfähige Hartbeschichtungen
- ▶ Erodierende Beschichtungen mit anorganischen Zinkverbindungen
- ▶ Hebe- und Liftanlagen für Boote
- ▶ Reinigungsanlagen und Werkzeuge

Kategorie B Biozidhaltige Beschichtungen

- ▶ Beschichtungen mit Kupferverbindungen
- ▶ Beschichtungen mit Kupferverbindungen und (an)organischen Cobioziden
- ▶ Beschichtungen mit ausschließlich organischen Bioziden

5.1 Kategorie A Biozidfreie Verfahren und Beschichtungen

Aktuell werden auf dem Markt für Sportboote eine ganze Reihe von Verfahren und Beschichtungen angeboten, die dazu angelegt sind, den Bewuchs zu vermindern oder zu verhindern.

5.1.1 Antihaftbeschichtungen und -Folien

Antihaftbeschichtungen basieren auf Silikonpolymeren, deren Hydrogele zugesetzt werden, um eine sowohl hydrophobe wie hydrophile Grenzfläche zu schaffen. Die Beschichtungen sind gummiartig weich und sind daher mechanisch nicht sehr stark beanspruchbar. Bei Beschädigungen gibt es Möglichkeiten zur lokalen Ausbesserung. Die Applikation ist aufwendig und es empfiehlt sich, den Applikationsvorschriften exakt zu folgen, um ein qualitativ gutes Ergebnis zu erzielen. Da die Hydrogele ausschwitzen, empfehlen die Hersteller eine jährliche Auffrischung. Feldtests mit diesen Beschichtungen haben gezeigt, dass sie Standzeiten von vielen Jahren erreichen können, ohne ihre Wirksamkeit zu verlieren. Es muss nach einer Saison mit einem gewissen Bewuchs als Biofilm und auch partiellem Makrobewuchs gerechnet werden, der sich aber schon bei Fahrt oder direkt nach dem Herausheben des Bootes leicht mit einem Schwamm entfernen lässt. Es ist auch Praxis diese Beschichtungen im Herbst mit Hochdruckwasser zu reinigen, es sollten aber keine Drücke über 100 bar eingesetzt werden. Unter ökologischen Aspekten ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass die Produkte keine ausschwitzenden Flüssigkeiten enthalten sollten, die persistent sind. Die erwähnten Hydrogele oder auch eingesetzte Wollwachse sind abbaubar. Die Antihaftbeschichtungen auf Silikonbasis können in allen Gewässertypen und auch in Häfen mit sehr hohem Bewuchsdruck eingesetzt werden.

Abbildung 6: Jollenkreuzer mit Antihafbeschichtung nach der Saison ungereinigt



Quelle: LimnoMar

Abbildung 7: Jollenkreuzer mit Antihafbeschichtung nach der Saison gereinigt



Quelle: LimnoMar

5.1.2 Reinigungsfähige Hartbeschichtungen

Dieser Beschichtungstyp besteht überwiegend aus Epoxid/Silikonhybriden, in denen die Silikonverbindungen chemisch gebunden sind, sodass auch bei Reinigungen keine Silikonverbindungen ausgewaschen werden können. Sie sind einfach zu applizieren, benötigen aber zur Applikation Temperaturen oberhalb von 10 °C und besitzen lange Trocknungszeiten. Diese Beschichtungen sind so hart und widerstandsfähig, dass sie in zahlreichen Zyklen gereinigt werden können ohne beschädigt zu werden. Sie besitzen Eigenschaften, die die Haftung der Organismen so verringern, dass sie leicht abgereinigt werden können. Ihr Einsatz im Süßwasser ist unproblematisch. Je nach Gewässer können sehr ausgedehnte Reinigungsintervalle gewählt werden oder die Boote nur nach dem Herausnehmen am Ende der Saison gereinigt werden. Im Brackwasser empfiehlt sich, eine Kontrollplatte am Liegeplatz auszuhängen, um den Bewuchsverlauf zu kontrollieren und frühzeitig z.B.

eine Larvenfall von Seepocken oder Miesmuscheln zu erkennen. Die bisherigen Erfahrungen im Brackwasser zeigen, dass Segelboote ca. 3x in der Saison gereinigt werden müssen, Motorboote je nach Geschwindigkeit 3x oder sogar nur 1x pro Saison. Nach bisherigen Erfahrungen hält dieser Beschichtungstyp mindesten 3 Jahre, möglicherweise auch länger. Es können alle Arten von mobilen oder stationären Reinigungsverfahren angewandt werden. Umgekehrt empfiehlt es sich, Reinigungen nur in Verbindung mit diesem Beschichtungstyp anzuwenden. Weder Epoxid-Primer noch biozidhaltige Antifoulingprodukte sind für Reinigungen geeignet.

5.1.3 Erodierende Beschichtungen ohne toxische Zusätze

Diese Beschichtungen enthalten überwiegend Kolophonium (Baumharze), die sich langsam auflösen und so dem Bewuchs keinen Halt geben. Sie sind einfach zu applizieren, ihre Standzeit beträgt aber nur eine Saison und sie werden nur für das Süßwasser empfohlen. Es muss mit einem schwachen Bewuchs aus flach wachsenden Moostierchen gerechnet werden.

5.1.4 Erodierende Beschichtungen mit anorganischen Zinkverbindungen

Erodierende Beschichtungen mit Zinkoxid gelten als biozidfreie Beschichtungen, da Zinkoxid nicht als Biozid klassifiziert wurde, obwohl es toxisch ist. Die Toxizität wurde auf der EU-Ebene als so gering eingestuft, dass diese Klassifizierung begründet erschien. Diese Beschichtungen sind ebenfalls sehr einfach zu applizieren, durch den teilweise hohen Zinkoxidanteil bis 50 % ist ihre Konsistenz sehr weich. Solche Beschichtungen sollten daher in der Saison im Wasser nicht gereinigt werden. Ihre Wirksamkeit im Süßwasser ist ausreichend, im Brackwasser ebenfalls, im Salzwasser ist ihre Einsatz nur beschränkt möglich.

Abbildung 8: Erodierende Beschichtung ohne toxische Zusätze nach einer Saison im Süßwasser



Quelle: LimnoMar

5.1.5 Heb- und Liftanlagen für Boote

Besonders im Süßwasser sind regional Bootshebeanlagen stark verbreitet. Sie werden als fertige Anlagen für Boote bis 10 m Länge angeboten, häufig sind aber auch selbstgebaute Vorrichtungen für Boot bis zu 500 kg zu finden. An der Küste im Brack- wie im Süßwasser sind sie als Mini-Slip-Anlagen in geschützten Buchten vor allem an der Ostsee zu finden. An der Nordseeküste sind diese Anlagen auf Grund ihrer Labilität eher eine Ausnahme.

Abbildung 9: Bootshebeanlagen für Boote bis 10 meter Länge, Meichle & Mohr, Kressbronn Bodensee



Quelle: LimnoMar

Abbildung 10: Selbstgebaute Bootshebeanlage bis 500 kg, Ratzeburger See, Schanzenberg



Quelle: LimnoMar

Abbildung 11: Selbstgebaute Bootshebeanlage bis 500 kg, Ratzeburger See, Schanzenberg



Quelle: LimnoMar

5.1.6 Reinigungsanlagen und Werkzeuge

Stationäre Reinigungsanlagen werden in Deutschland noch nicht angeboten, sind aber an der schwedischen West- und Ostküste schon relativ verbreitet. Sie sind für Motor- und Segelboote geeignet. Die Reinigung basiert auf rotierenden Bürsten, die an die Boote herangefahren oder die Boote über sie gefahren werden. Zudem werden auf dem Markt eine Reihe von Reinigungswerkzeugen angeboten, die von Bord oder vom Steg aus eingesetzt werden können.

5.2 Biozidhaltige Antifoulingprodukte der Kategorie B

Bis Ende 2017 müssen alle Hersteller von biozidhaltigen Antifoulingprodukten Anträge zur Zulassung ihrer Produkte auf der Basis der genehmigten Wirkstoffe eingereicht haben. Die genehmigten Wirkstoffe für den Gebrauch in der Produktklasse 21 (Antifoulingprodukte) sind zu finden unter:

<https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/de/Biozide/Wirkstoffe/Genehmigte-Wirkstoffe/Genehmigte-Wirkstoffe.html>

Diese Wirkstoffe dürfen, soweit genehmigt, zukünftig in Biozid-Antifoulingprodukten verwandt werden. Entscheidend für den Bootseigner, den Bootsbau und die Werften ist aber vor allem, dass die Antifoulingprodukte unabhängig von ihrer Zusammensetzung eine nationale Registriernummer tragen müssen, welche von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) vergeben wird und auf ihrer Homepage eingesehen werden kann.

<https://www.baua.de/DE/Biozid-Meldeverordnung/Offen/offen.html>

Ist dies nicht der Fall, dürfen sie in Deutschland nicht in den Verkehr gebracht werden und auch nicht appliziert werden. Dies hat schon zu ersten Verstimmungen geführt als Bootseigner mit Liegeplatz und Winterlager in den Niederlanden deutsche Antifoulingprodukte in den Niederlanden applizieren wollten. Gleiches gilt umgekehrt für Importeure von Antifoulingprodukten. Diese dürfen und wollen auch nicht Produkte nach Deutschland einführen, die z.B. eine Registriernummer von Schweden tragen. Dieses ist aus zwei Gründen illegal. Das Produkt muss eine nationale Registriernummer tragen, und es wird für dieses Produkt keine Produkt- und Sicherheitsdatenblätter, sowie Beschriftungen auf dem Gebinde in deutscher Sprache geben.

In den Genehmigungen für die Wirkstoffe sind bisher bestimmte Restriktionen erlassen worden:

- ▶ Kupferpyrithion und DCOIT dürfen nur in Produkten enthalten sein, die professionell appliziert werden.
- ▶ Dichlofluanid und Tolyfluanid dürfen nicht in Produkten enthalten sein, die für den Einsatz im Süßwasser empfohlen werden.

Die EU-Biozid-Verordnung bezieht sich aber vor allem auf das Inverkehrbringen der Produkte, wo sie später verwandt werden, liegt nicht in der Überwachungspflicht der BAuA oder des UBA. Dies bedeutet, dass ein Boot mit einem für das Seewasser empfohlenen Antifouling-Produkt beschichtet werden kann und dann zu seinem Liegeplatz im Süßwasser verholt werden kann. Hier liegt eine Verantwortung bei den Vereinen und Marinas, darauf zu achten, dass möglichst angepasste und umweltfreundliche Produkte eingesetzt werden.

Es wird in Zukunft im Wesentlichen bei den Herstellern und Vertreibern liegen, wofür sie ihre Produkte ausloben. Es gibt bisher, und es wird in Zukunft solche oder ähnliche Empfehlungen geben:

- ▶ Für harte Bewuchsverhältnisse im Salzwasser geeignet
- ▶ Für mäßig starke Bewuchsverhältnisse im Brackwasser wie auch in der Ostsee und in Flussmündungen geeignet
- ▶ Für schwachen Bewuchs im Süßwasser erlaubt und geeignet

Verwirrend für Eigner ist die Empfehlung für alle Gewässer von Salz- bis Süßwasser geeignet. Dieses wäre in Zukunft weder im Sinne der Biozid-Verordnung noch des sorgsamsten Umgangs. Generell sind Antifoulingprodukte, die im Salzwasser wirksam sind auch im Brack- und Süßwasser wirksam. Dennoch gilt, dass die Leaching-Rate im Salzwasser höher ist und bei Befahren eines Brackwassers oder Süßwasserreviers absinkt, wenn das Produkt nicht für alle Bereiche formuliert wurde.

So gibt es z.B. immer wieder Beschwerden über die Unwirksamkeit von kupferhaltigen Antifoulingprodukten an der deutschen Ostseeküste wie Travemünde, Unter-Warnow oder auch Greifswald. Dieses liegt zum einen an der Erniedrigung der Leaching-Rate in diesen Revieren und zum anderen an einer bisher starken Eutrophierung in den jeweiligen Flussmündungen, welche den Bewuchsdruck nachhaltig erhöht.

In der Kategorie B werden pauschal alle biozidhaltigen Produkte aufgeführt, ohne zwischen Produkten besonderer Zusammensetzung zu unterscheiden. Dieses ist weder unter Effektivitätsgesichtspunkten noch unter Umwelt oder Gesundheitsaspekten sinnvoll möglich. Da alle bisher zugelassenen Biozide Risiken beinhalten, kann es keine Empfehlung für ein unbedenkliches Produkt geben. Werden Effektivitätskriterien angelegt, hängt dies ebenso vom Liegeplatz, den befahrenen Revieren, der Aktivität des Bootes/-Eigners und der Qualität der Applikation ab. Daher können auch die Effektivitätskriterien nur bedingt mit Produktkriterien verbunden werden.

Generell kann davon ausgegangen werden, dass Produkte für hohen Bewuchsdruck eine höhere Konzentration von Haupt- und Cobioziden aufweisen und auch eine höhere Leaching-Rate besitzen. Hierzu gibt es aber bis auf wenige Ausnahmen kaum festgelegte Kriterien.

Grundsätzlich ist die Leaching-Rate, also die Freisetzung der in der Matrix enthaltenen Biozide, von der Erosion oder Polierung des Bindemittels abhängig. Da fast alle erodierenden oder polierenden Sportbootantifouling-Beschichtungen Kolophonium enthalten, wird dessen Löslichkeit im Wasser durch einen Zusatz von Zinkoxid reguliert. Die Löslichkeit des Kolophoniums ist wiederum stark von der Alkalinität, dem pH-Wert und der Salinität abhängig. Diese Beziehung ist besonders für Biozidprodukte in der Ostsee relevant, da die Salinität von West nach Ost abnimmt und ebenso die Leaching-Rate (Ytreberg et al. 2017). Gleichmaßen sinkt die Leaching-Rate bei steigender Alkalinität bzw. steigendem pH-Wert. Dieses ist häufig der Grund, weshalb hochgefüllte Kupferprodukte z.B. in

eutrophierten Flussmündungen wie der Trave oder der Warnow versagen. Die Salinität nimmt ab, der pH steigt, aber der Bewuchsdruck bleibt hoch. Absterbende Planktonblüten wie in Flussmündungen an der Ostsee oder in eutrophierten Meeresgebieten im Spätsommer erhöhen den pH-Wert und verringern die Leaching-Rate und somit die Wirksamkeit der Beschichtung. Daher ist eine Konzentrationsbegrenzung von Bioziden in Antifoulingprodukten nur begrenzt sinnvoll, wesentlich entscheidender ist die Leaching-Rate in den für den Einsatz empfohlenen Gewässern. In dem EU-Projekt CHANGE wurden für die Ostsee mehrere Vorschläge zur Begrenzung der Leaching-Raten formuliert. Auf Grund von Messungen an exponierten Testplatten und Leaching-Raten-Bestimmungen mit Hilfe der Röntgenspektroanalyse wurden als kritische – als noch wirksame – Leaching-Raten empfohlen:

- ▶ 4,9 – 10,8 µg/cm² /Tag für die westliche Ostsee mit vorherrschender Salinität von 14 PSU
- ▶ 3,3 – 5,0 µg/cm² /Tag für die östliche Ostsee mit vorherrschender Salinität von 5 PSU

Anders sind Hartantifouling Produkte auf der Basis von Teflonverbindungen und inkorporierten Kupferverbindungen zu beurteilen. Bei diesem Produkttyp, der in vielen Süßwasser- und Brackwasser-Regionen in Deutschland sehr hohe Marktanteile besitzt, erodiert die Teflonmatrix nur geringfügig und die Leaching-Rate z.B. des Kupfers hängt von der Strecke ab, die das Kupfer im Bindemittel in Richtung Oberfläche zurücklegen muss. Daher sinkt die Leaching-Rate bei diesem Produkt-Typ mit der Zeit ab, unabhängig von Salinität und pH-Wert.

In der zukünftigen Produktzulassung müssen sowohl Konzentrationsangaben/-Bereiche der Biozide als auch kalkulierte oder gemessene Leaching-Raten vorgelegt werden. In der Risiko Abschätzung wird die erwartete Umweltkonzentration (PEC) mit der Konzentrationsgrenze ohne Schädwirkung (PNEC) verglichen. Wenn das PEC/PNEC-Verhältnis >1 ist, kann die Zulassung versagt werden. Hierdurch wird es faktisch zu einer Begrenzung der Konzentrationen und Leaching-Raten kommen, die aber nicht publiziert und dem Endverbraucher zugänglich gemacht werden. Es ist zu hoffen, dass es durch die angedeutete Risiko-Abschätzung zu einer abgestuften Zulassung von Produkten für das Salzwasser, Brackwasser und Süßwasser kommen wird.

Anhang

Tabelle A 1: Stationsliste mit Georeferenzierung

Region	Gewässer	Bundesland	Ort	Verein	Jahr	Georeferenz (Grad/Minute /Sekunde, WGS84)
Salzwasser	Nordfriesische Nordseeküste	SH	Husum	Außenseite Sperrwerk	1992	54°28'22.01"N 09°01'30.39"E
	„	SH	Husum	Ausgang Trockendock	1992	54°28'20.05"N 09°02'05.75"E
	„	SH	St. Peter Ording	Sportclub St. Peter Ording	1997	54°21'10.05"N 08°40'24.89"E
	„	SH	Speicherkoog, Meldorf	Meldorf MSV, Steg-Anfang	1992, 2008	54°05'26.89"N 08°57'22.78"E
	„	SH	Speicherkoog, Meldorf	Meldorf MSV, Steg-Ende	1992, 1997, 2008	54°05'32.27"N 08°57'19.86"E
	„	SH	Büsum	Außenmole	1992	54°07'10.82"N 08°51'36.04"E
	„	SH	Büsum	Hafenbecken Werft	1992	54°07'39.48"N 08°51'58.86"E
	Deutsche Bucht	SH	Helgoland	Südhafen, Westmole	1992	54°10'20.08"N 07°53'52.58"E
	„	SH	Helgoland	Südhafen, Vorhafen Ostmole	1992	54°10'30.66"N 07°53'38.77"E
	Elbmündung	NI	Cuxhaven	Steubenhöft, Freihafen	1992	53°52'26.46"N 08°42'22.37"E

	Jadebusen	NI	Wilhelmshaven	Neuer Vorhafen – Tirpitz-Brücke	1992	53°32'14.77"N 08°09'48.58"E
	„	NI	Wilhelmshaven	Neuer Vorhafen – Scheer-Brücke	1992	53°31'53.89"N 08°09'59.14"E
	Ostfriesische Nordseeküste	NI	Emden	Zoll/WSP-Anleger vor der Schleuse Außenhafen	1992/2012	53°20'40.63"N 07°11'21.80"E
	„	NI	Emden	Ehemaliger Ölpier Neuer Binnenhafen	1992	53°20'16.12"N 07°12'15.80"E
	„	NI	Norderney	Buhne H1	2006	53°42'48.60"N 07°09'01.18"E
	„	NI	„	Norderney Ankerbojen	2009	53°42'09.69"N 07°09'48.12"E
	„	NI	„	Norderneyer Hafen PVC	2005-2017	53°42'09.69"N 07°09'48.12"E
	„	NI	„	Norderneyer Hafen Stahl „BANT“	2011	53°42'09.69"N 07°09'48.12"E
	„	NI	Norddeich	Norddeich Osthafen	1992	53°37'28.85"N 07°09'44.37"E
	„	NI	Norddeich	Segelverein Norddeich, Westhafen	1992	53°37'31.25"N 07° 09'38.69"E
	„	NI	Accumersiel	Yacht Club Accumersiel e.V. (YCACC)	1998	53°40'50.35"N 07°29'16.20"E
	„	NI	Harlesiel	Yacht-Club-Harlesiel	2008	53°42'19.09"N 07°48'33.31"E
	„	NI	Spiekeroog	alter Anleger	2006	53°44'59.19"N 07°40'56.15"E
	„	NI	Spiekeroog	Strand, Buhne Laramie	2006	53°46'2.69"N 07°40'10.51"E

	„	NI	Spiekeroog	Hafen, Holz, Stahl, PVC	2006	53°45'53.29"N 07°41'51.75"E
	„	NI	Wangerland/Horumersiel	SKHS Horumersiel	2008	53°41'1.94"N 08°1'15.67"E
Brackwasser	Flensburger Förde	SH	Glücksburg	Club Nautic e.V. (Ostsee)	1997	54°51'28.81"N 09°34'16.63"E
	Schlei	SH	Steinfeld	Wassersportverein Stauertwedt e.V. (Schlei)	1997	54°34'33.28"N 09°46'03.21"E
	„	SH	Maasholm, Schleimünde	Yachthafen Maasholm,	1992	54°40'53.87"N 09°59'46.96"E
	„	SH	Maasholm, Schleimünde	Slipanlage Maasholmer Werft	1992	54°40'58.62"N 09°59'21.47"E
	Kieler Bucht	SH	Kiel	WSA Kiel, Tonnenhof	1992	54°22'24.83"N 10°09'30.12"E
	„	SH	Kiel	Sporthafen Düsternbrook, Hindenburgufer	1998	54°20'16.19"N 10°9'27.43"E
	„	SH	Kiel	Kieler Yacht-Club, Yachthafen Schilksee (KYC)	1992, 1998	54°25'44.84"N 10°10'19.88"E
	„	SH	Kiel	Kieler Yacht-Club, Yachthafen Schilksee (KYC)	2014, 2015, 2016	54°25'46.85"N 10°10'21.36"E
	„	SH	Kiel	Kieler Yacht-Club, Yachthafen Strande (KYC)	1998	54°26'8.00"N 10°10'15.07"E
	Lübecker Bucht	SH	Grömitz	Yachthafen Grömitz Steg 4 und 5	1992, 2014, 2015, 2016	54°08'02.87"N 10°56'49.23"E
	„	SH	Neustadt	Ancora-Marina		54°05'40.36"N 10°48'05.33"E

	„	SH	Fahrdorf	Fahrdorfer Segelverein e.V. (FSV)	1998	54°30'11.06"N 09°35'09.07"E
	„	SH	Lübeck	Lübecker Motorboot Club e.V. (LMC)	1998	53°51'22.70"N 10°40'34.81"E
	„	SH	Lübeck	Lübecker Yacht-Club e.V. (LYC) Travemünde	2008	53°52'24.55"N 10°42'18.64"E
	Untereibe	SH	Glückstadt	Segler-Vereinigung-Glückstadt e.V.	2008	53°47'08.11"N 09°25'03.98"E
	„	HH	Wedel	Hamburger Yachthafen Gemeinschaft e.V.	1988, 2008	53°34'30.15"N 09°40'46.55"E
	Jadebusen	NI	Nordenham	Sportboothafen Großensiel	2008	53°27'50.50"N 08°28'48.86"E
	Wesermündung	HB	Bremerhaven	Bremerhaven Geestemünde Hafen (VR 596)	2008	53°30'35.91"N 08°34'41.42"E
	„	HB	Bremen, Hasenbüren	Seglervereinigung der Hanseaten	2015, 2016, 2017	53°07'22.12"N 08°40'02.13"E
	Wismarer Bucht	MV	Wismar	Yachtclub Wismar 1961 e.V.	2008	53°54'33.90"N 11°26'09.27"E
	Mecklenburger Bucht	MV	Warnemünde	Yachthafen am Alten Strom	1992	54°10'37.46"N 12°05'19.22"E
	„	MV	Gehlsdorf	Rostocker Yacht Club e.V.	2008	54°05'41.46"N 12° 07'42.25"E
	Strelasund	MV	Stralsund	Stralsunder Seglerverein Hansa	2008	54.31'25.56"N 13.11'08.19"E
	„	MV	Stralsund	Nordmole	1992	54°19'05.89"N 13°06'04.51"E
	„	MV	Stralsund	Strelasund, Tonnenhof, Kaimauer	1992	54°18'20.97"N 13°07'00.18"E

	„	MV	Stralsund, Dänholm	Strelasund, Tonnenhof, Stichkanal	1992	54°18'20.97"N 13°07'00.18"E
	Greifswalder Bodden	MV	Greifswald	Greifswalder Yacht-Club e.V.	2008	54°09'98.25"N 13°40'10.97"E
	„	MV	Greifswald/Wieck	Yachthafen Mole	1992	54°05'49.96"N 13°27'27.07"E
	Stettiner Haff	MV	Ueckermünde	Yachtclub Ueckermünde e.V.	2008	53°44'27.10"N 14° 02'55.52"E
	Rügen	MV	Saßnitz, Rügen	Ostmole	1992	54°30'31.69"N 13°38'22.26"E
Süßwasser	Eider	SH	Erfde, Barga	Wassersportverein Barga e.V.	1998	54°18'01.04"N 09°16'25.52"E
	Plöner See	SH	Bosau	Segel-Sport-Club-Bosau	2008	54°06'05.44"N 10°25'24.22"E
	Ratzeburger See	SH	Ratzeburg	Ratzeburger Seglerverein	1997, 2015	53°42'17.40"N 10°46'33.69"E
	„	SH	Groß Sarau	Segel Verein Wakenitz	2014, 2015, 2016	53°46'45.72"N 10°45'35.88"E
	Unterweser	HB	Bremen-Hemelingen	Wassersport-Verein Hemelingen e.V. (WVH)	1998	53°02'48.94"N 08°52'26.64"E
	Alster	HH	Hamburg Außenalster	Steg Hamburger Segel Club	2012, 2013	53°33'35.39"N 10°00'30.96"E
	Elbe	HH	Elbe, Hamburg-Entenwerder	Zollponton	1997, 1999	53°31'46.23"N 10°02'11.65"E
	„	HH	Hamburg Harburg	Bootswerft Gorch von Blomberg	1997	53°28'27.39"N 09°59'01.20"E

	Zwischenahner Meer	NI	Bad Zwischenahn	Zwischenahner Segelclub	2008	53°11'17.93"N 08°01'35.15"E
	Dümmer	NI	Hüde	Bielefelder Segel-Club e.V.	2001	52°30'09.81"N 08°21'06.86"E
	„	NI	Hüde	Seglervereinigung Hüde	2015, 2016, 2017	52°30'09.81"N 08°21'06.86"E
	Steinhuder Meer	NI	Wunstorf/ Steinhude	Segel-Verein Steinhude e.V. (SVSN)	1998	52°27'46.40"N 09°22'06.15"E
	Müritz	MV	Röbel	Röbeler-Segler-Verein Müritz e.V.	2008	53°23'17.42"N 12°37'08.51"E
	Berliner Gewässer	BE	BE-Charlottenburg	Segelgemeinschaft Ruppenhorn e.V.	1997	52°30'25.92"N 13°12'46.59"E
	„	BE	BE-Spandau	Spandau Yachtclub Berlin e.V. (SPYC)	1997	52°30'37.33"N 13°11'20.68"E
	„	BE	BE-Spandau	Segel-Club Nordstern Spandau	1997	52°34'15.49"N 13°13'19.94"E
	„	BE	BE-Grünau	Tourensegler Grünau 1898 e.V. (TSG)	1997, 1998	52°23'03.35"N 13°38'37.67"E
	„	BE	Sacrower See	Sportbootverein Sacrow	2013	52°26'48.87"N 13°06'06.28"E
	„	BE	BE-Spandau	Segel-Club Nordstern Spandau	1997	52°34'15.49"N 13°13'19.94"E
	„	BE	Tegeler See	Tegeler Segel Club	1988, 1997	52°35'32.56"N 13°15'44.64"E
	„	BE	Zeuthener See, Schmöckwitz	Steg Bootshaus Rietz	2015, 2017	52°22'32.14"N 13°38'46.59"E
	„	BE	Müggelsee	Seglergemeinschaft am Müggelsee e.V.	1997	52°26'34.23"N 13°37'26.79"E

	„	BB	Goyatz-Schwielochsee	Seglergemeinschaft-Schwielochsee	2008	52°00'41.48"N 14°11'18.87"E
	„	BB	Bad Saarow - Scharmützelsee	Saarower Segler-Verein am Werl	2008	52°16'26.00"N 14°02'32.00"E
	Potsdamer Havel	BB	Potsdam - Insel Hermannswerder	Seglergemeinschaft-Segeln-Potsdam	2008	52°23'16.06"N 13°02'30.13"E
	Maas, Holländische Grenze	NW	Wassenberg	Effelder Waldsee	2008	51°07'47.13"N 06°05'44.22"E
	Rhein	NW	Duisburg	Duisburger Yacht-Club e.V.	1997	51°23'03.68"N 06°48'19.60"E
	Ruhr	NW	Essen	Baldeneysee	1997	51°24'03.37"N 07°00'18.33"E
	Ruhr	NW	Mülheim an der Ruhr	Wassersportverein Mülheim an der Ruhr	2009	51°24'30.82"N 06°53'37.07"E
	Rhein Einzugsgebiet	NW	Köln - Simmerath, Rursee	Ford-Segel-Club Köln e.V.	1998	50°37'01.52"N 06°23'35.58"E
	Aar	HE	Bischoffen, Aartalsee	Segel- und Ruderclub Aartal e.V.	1997	50°42'04.37"N 08°27'59.78"E
	Mosel	RP	Traben-Trarbach	Ruder-Club Traben-Trarbach 1881 e.V. (RCTT)	1997	49°56'59.39"N 07°06'45.01"E
	Rhein	RP	Otterstadt	HSK-Ludwigshafen	2008	49°22'48.00"N 08°28'30.71"E
	„	RP	Ingelheim/Frei-Weinheim	Ingelheimer Yacht-Club e.V.	2008	49°59'53.11"N 08°00'46.53"E
	Bodensee	BW	Konstanz	Konstanzer Yacht Club e.V. (KYC)	1998, 2008	47°39'59.54"N 09°11'21.34"E
	„	BW	„	Yachtclub Fließshorn e.V. (YCFl)	1998	47°44'06.57"N 09°10'22.99"E

	„	BW	„	Segler Verein Staad e.V. (SVS)	1998	47°40'50.66"N 09°12'45.07"E
	„	BW	Friedrichshafen	WYC-Hafen	2008	47°39'02.30"N 09°28'22.93"E
	Rhein	BW	Philippsburg	Ski- und Kanu-Club Philippsburg e.V. (SCK)	1998	49°15'12.26"N 08°25'48.10"E
	Schwarzwald	BW	Schluchsee-Aha	Segelverein Schluchsee	2008	47°49'49.92"N 08°08'09.32"E
	Saale	TH	Schleiz	SC Turbine Bleiloch Sperrmauer	2008	50°31'15.88"N 11°43'00.23"E
	„	TH	Saaltal Hohenwarte	SV Turbine Hohenwarte e.V.	2008	50°37'01.82"N 11°30'36.27"E
	Großer Brombachsee	BY	Nürnberg	WSG Altmühl-Brombach e.V. (WAB)	1997	49°07'25.75"N 10°55'41.98"E
	Starnberger See	BY	Seeshaupt	Yacht-Club Seeshaupt e.V. (YCSSL) (Starnberger See)	1997	47°49'18.48"N 11°19'17.67"E
	Bodensee	BY	Lindau	Lindauer Segelclub	2008	47°32'38.31"N 09°41'13.66"E
	„	BY	Lindau/Zech	TSG, Stegende	1989	47°32'03.85"N 09°43'48.19"E
	Chiemsee	BY	Prien	Chiemsee Yacht-Club Prien	2008	47°50'53.40"N 12°22'20.16"E
	Ammersee	BY	Dießen/Riederau	Ammersee Yacht-Club	2008	47°58'41.94"N 11°05'58.52"E

6 Quellenverzeichnis

- Andrusov, N. (1897): Fossile und lebende Dreissensidae Eurasiens.- Travaux de la Societe des Naturalistes de St-Petersbourg, Section de Geologie et de Mineralogie 25: 1-687, St. Petersburg
- ARGE Elbe (1998): Kleinlebewesen der Tideelbe. Eine Literaturstudie über Benthos, Aufwuchs, Aggregate und Plankton von der Mitte des 19. Jahrhunderts bis zur Gegenwart, 141 S.
- bij de Vaate, A. (2010): Some evidence for ballast water transport being the vector of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897) introduction into Western Europe and subsequent upstream dispersal in the River Rhine. *Aquatic Invasions*, 5, 2, 207-209
- Busch, D., Schuchardt, B., Kettler, J. & Steinweg, B. (1995): Die Verbreitung der Muschelarten *Dreissena polymorpha* und *Congeria leucophaeata* in der Weser und ihre Eignung für ein passives Schwermetallbiomonitoring.- In: B. Gerken; M. Schirmer (Hrsg.) *Die Weser.- Limnologie aktuell* Bd. 6: 109-122.
- Chojnacki, J.C. (2000): Effects of artificial reefs in the southern Baltic. In: Jensen et al. (eds.) *Artificial Reefs in European Seas*. 307-317, Kluwer
- Dahlström, M. (2017): Annual Report 2016 for Bonus CHANGE. Stockholm, Schweden. 174 S.
- Dürr, S., Wahl, M. (2004): Isolated and combined impacts of blue mussels (*Mytilus edulis*) and barnacles (*Balanus improvisus*) on structure and diversity of fouling communities. *J. Exp. Mar. Ecol.* 306, 181 – 195.
- Dziubińska, A., Janas, U. (2007): Submerged objects – a nice place to live and develop. Succession of fouling communities in the Gulf of Gdańsk, Southern Baltic. *Int. J. Oceanogr. Hydrobiol.* 36, 4, 65 -78.
- Dzibuńska, A., Szaniawska, A. (2010): Short-term study on the early succession stages of fouling communities in the coastal zone of Puck Bay (southern Baltic Sea). *Int. J. Oceanogr. Hydrobiol.* 39, 4, 3 – 16.
- Fenske, C. (2003): Die Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*) im Oderhaff und ihre Bedeutung für das Küstenzonenmanagement Promotionsarbeit, Univ. Greifswald, 194 S.
- Eklund, B., Johannson, L., Ytreberg, E. (2014): Contamination of a boatyard for maintenance of pleasure boats. *J. Soils Sediments* 14, 955-967.
- Eklund, B., Eklund, D. (2014): Pleasure boat boatyard soils are often highly contaminated. *Environmental Management* 53, 930-946.
- LimnoMar (2017): Antifouling-Produktliste. Hamburg, 148 S.
- Eklund, B., Watermann, B. (2018): Persistence of TBT, and copper in excess on leisure boat hulls around the Baltic Sea. *Environ. Sci. Pollut. Res.* (submitted)
- Günther, B., Andres, D., Ossig, S., Janitz, H. (1995): Status – Quo – Erfassung des Makrozoobenthos im Peenestrom und im Kleinen Haff. *Rostock, Meeresbiologische Beitr.*, 3, 189 – 219.
- HELCOM (2009): Biodiversity in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment on biodiversity and nature conservation in the Baltic Sea. *Balt. Sea Environ. Proc.* No. 116B.
- HELCOM (2012): Checklist of Baltic Sea Macro Species. *Baltic Sea Environment Proc.* 130, 206pp.
- Hinz, W. & Wiersch, W. (1993): Siedlungsdichte von *Dreissena polymorpha* im Rhein-Herne-Kanal bei Oberhausen. *Heldia*, 2 (1/2): 29-32.
- Hofmann, F. (1972): Das Vorkommen der Wander- oder Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* im Bodensee- und Hochrheingebiet. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen*. 29 S.
- IPPIC (2010): The importance of using effective antifouling coatings in relation to greenhouse gas emissions from shipping. IMO, MEPC, 60/4/21, 5pp.
- Jungbluth, J.H. (1996): Einwanderer in der Molluskenfauna von Deutschland. In: Gebhardt, Kinzelbach, Schmidt-Fischer Hrsg.). *Gebietsfremde Tierarten. Ecomed*, 105 -125.
- Martens, A., Grabow, K. & Schoolmann, G. (2007): Die Quagga-Muschel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) am Oberrhein (Bivalvia: Dreissenidae).- *Lauterbornia* 60: 145-152.

- Martens, A. & Grabow, K. (2008): Das Risiko der Verschleppung neozoischer Amphipoda beim Überlandtransport von Yachten.- *Lauterbornia* 62: 41-44.
- Martens, A. (2009): Die Quagga-Muschel *Dreissena rostriformis bugensis* (Bivalvia: Dreissenidae) erobert den Main, Rhein und Neckar: Hinweise zu einem potenziellen Aufsitzer von Libellenlarven.- *Mercuriale* 9: 23-26
- Martin, D.M., Bergman, K., Harju, A.A., Koroschetz, B., Salminen, E., Solér, C., Ziegler, F. (2018): Understanding antifouling practice and consumption patterns. In: *Changing antifouling practice in the Baltic Sea. Results from the CHANGE project.* 4, 118pp.
- Mayer, S., Rander, A., Grabow, K. & Martens, A. (2009): Binnenfrachtschiffe als Vektoren der Quagga-Muschel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov) im Rhein (Bivalvia: Dreissenidae).- *Lauterbornia* 67: 63-67.
- Molloy, D. P., bij de Vaate, A., Wilke, T. & Giamberini, L. (2007): Discovery of *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov 1897) in Western Europe.- *Biological Invasions* 9: 871-874.
- Nehring, S., Reise, K., Dankers, N., Sand Kristensen, P. (2009): Alien species. Thematic Report No. 7. In: Marencic, H. & Vlas, J. de (Eds), 2009. *Quality Status Report 2009. WaddenSea Ecosystem* No. 25. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, 29pp.
- Neobiota in Berliner Gewässern im Jahr 2016 – Makrozoobenthos, Fische und Makrophyten Dezember 2016.
- NLWKN (2001): Dümmer, Leitfaden Maßnahmeplanung, Oberflächengewässer, WRRL Bd. 3, 29S.
- Peters, N., Sönnichsen, H., Berger, H.-D., Langner, K., Watermann, B. (1994): Natürliche Biozide und biozidfreie Mittel zur Bewuchshemmung, ihre Effektivität und Anwendung auf Schiffen im marinen Bereich. *Texte UBA*, 55/94, 229pp.
- Postler, E., Postler, W., Schiel, F.-J. & Martens, A. (2012): Ein neuer Aufsitzer von Libellenlarven: die Quagga-Muschel *Dreissena rostriformis bugensis* auf *Gomphus vulgatissimus* und *Orthetrum cancellatum* (Bivalvia: Dreissenidae; Odonata: Gomphidae, Libellulidae).- *Libellula* 31.
- Rajagopal, S. (1997): The ecology of tropical marine mussels and their control in industrial cooling water systems. Diss. Univ. Nijmegen: 184 pp.
- Rey, P., Ortlepp, J., Küry, D., 2004: Wirbellose Neozoen im Hochrhein. Ausbreitung und ökologische Bedeutung. *Schriftenreihe Umwelt* Nr. 380. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 88 S.
- Sandrock, S., Scharf E.M., Mohr, T. (2007): The Development of Fouling Communities on an artificial reef of Nienhagen"
- Schöll, F., Eggers, T. O., Haybach, A., Gorka, M., Klima, M. & König, B. (2012): Verbreitung von *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in Deutschland (Mollusca: Bivalvia). *Lauterbornia*, 74, 111-115.
- Scholle, J. & Schuchardt, B. (1999): Vertikale Gradienten des Makrozoobenthos auf Steinschüttungen der tidebeeinflussten Unterweser. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 43 (2): 60-66.
- Subklew, H.-J. & Thomaschky, H. (1963): Der Bewuchs an Seetonnen im Mündungsgebiet des Peenestroms. *Zoologischer Anzeiger: morphology, systematics, biogeography; a journal of c Deutsche Zoologische Gesellschaft Amsterdam (u.a.) Elsevier.* 170 3/4: 108-117.
- Tittizer, T. (1995): Neozoen in Bundewasserstraßen. In: Gebhardt, Kinzelbach, Schmidt-Fischer Hrsg.). *Gebietsfremde Tierarten.* Ecomed, 49 - 86.
- Umweltbundesamt (2014): HINTERGRUND // oktober 2014. Wie viel Antifouling vertragen unsere Gewässer? 12 S. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wie-viel-antifouling-vertragen-unsere-gewaesser>.
- Umweltministerium Niedersachsen (2017): Wasser schützen – Umweltfreundlicher Bewuchsschutz für Sportboote. <https://www.umwelt.niedersachsen.de/schiffsanstriche/wasser-schuetzen---umweltfreundlicher-bewuchsschutz-fuer-sportboote-158208.html>.
- Wahl, M., Hinrichsen, H.H., Lehmann, A., Lenz, M. (2013): Natural variability in hard-bottom communities and possible drivers assessed by a time-series study in the SW Baltic Sea: know the noise to detect the change. *Biogeosciences*, 10, 5227–5242.
- Watermann, B., Daehne, D., Fürle, C., Thomsen, A. (2015): Sicherung der Verlässlichkeit der Antifouling-Expositionsschätzung im Rahmen des EU-Biozid-Zulassungsverfahren auf Basis der aktuellen Situation in deutschen Binnengewässern für die Verwendungsphase im Bereich Sportboothäfen. *UBA-Texte* 68/2015. Dessau, 135 S.

Werner, S., Schmieder, K., Löffler, H. (2004): Starker Einfluss überwinternder Wasservögel am Bodensee auf Armleuchteralgen und Dreikantmuscheln Arbeitsgruppe Bodenseeufer (AGBU).

Werner, M., Michalek, M., & Strake, S. (2012): Abundance and distribution of the Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheet 2012. 8 S.

Wolter, C. (2010): Gallertartige Überraschung vom Grund der Oder. Nationalpark-Jahrbuch Unteres Odertal (9), 140-145.

Wrange, A.L., Dahlström, M., Dahlström, M., Koroschetz, B., Soler, C., Watermann, B. (2018): We can change products and infrastructures but not marine organisms. In: Changing antifouling practice in the Baltic Sea. Results from the CHANGE project. 4, 118pp.

Yacht (2017): Oft ist zu viel Gift auf den Rümpfen. August 2017, 12 – 13.

Ytreberg, E., Bighiu, M.A., Lundgren, L., Eklund, B. (2016): XRF measurements of tin, copper and zinc in antifouling paints coated on leisure boats. Environmental Pollution. 213, 594-599.

Zettler, M.L. & Röhner, M. (2004): Verbreitung und Entwicklung des Makrozoobenthos der Ostsee zwischen Fehmarnbelt und Usedom – Daten von 1839 bis 2001. – In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (HRSG.), Die Biodiversität in der deutschen Nord- und Ostsee, Band 3. Bericht BfG-1421, Koblenz, 175pp.