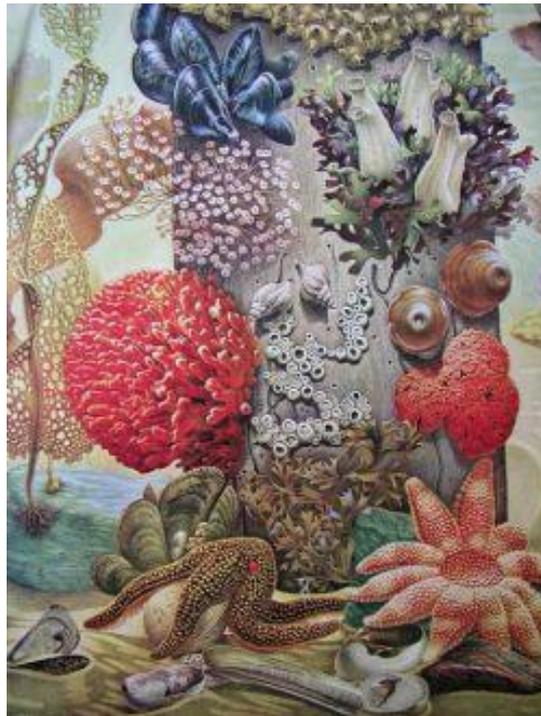


Abschlussbericht

zum DBU-Projekt AZ 29523-31

*„Erprobung von Reinigungsverfahren der Unterwasserbereiche
von Sportbooten und küstenoperierenden Schiffen
als Bewuchsschutz-Alternative
- Materialbelastung, Effektivität und Gewässerbelastung“*



LimnoMar
Hamburg / Norderney



PANADUR GmbH
Nordseetaucher GmbH
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes
Schleswig-Holstein

Juni 2014

LimnoMar
Labor für limnische / marine Forschung
Am Hafen 10
D-26548 Norderney
GERMANY

Telefon +49 – 4932 – 93 53 83

Internet www.limnomar.de

Datum: Juni 2014

Autoren: B. Daehne, Dr. B. Watermann, C. Fürle, D. Daehne,
A. Thomsen

Fachreferent: Dr. Maximilian Hempel
Referat Umweltchemie
Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU
An der Bornau 2
49090 Osnabrück

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	29523	Referat	31	Fördersumme	124.753,00 €
Antragstitel	Reinigungsverfahren für den Unterwasserbereich von Sportbooten				
Stichworte	Umweltchemikalien, Verfahren, Wasser Lack, Schiff, Oberflächenbehandlung				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
24 Monate	24.01.2012	24.01.2014	1		
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger	LimnoMar Labor für Limnische und Marine Forschung Bei der neuen Münze 11 22145 Hamburg			Tel	040/6 78 99 11
				Fax	
				Projektleitung	Dr. Watermann
				Bearbeiter	B. Daehne
Kooperationspartner	NORDSEETAUCHER GmbH 22949 Ammersbek PANADUR GmbH, 38820 Halberstadt Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, 24220 Flintbek				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Auf den Rümpfen von Booten und Schiffen bildet sich in kürzester Zeit eine Bewuchsgemeinschaft aus Meeres- oder Süßwasserorganismen, die eine beträchtliche Mächtigkeit und Festigkeit erreichen kann. Das führt zu einer erheblichen Gewichtszunahme, Erhöhung des Reibungswiderstands und Verminderung der Fahrtgeschwindigkeit eines Bootes. Bisher werden als Bewuchsschutz biozidhaltige Antifoulingbeschichtungen eingesetzt, welche den Bewuchs abtöten. Die Biozide beeinträchtigen aber die Gewässerqualität und schädigen auch die übrige Fauna der Gewässer.

In dem Projekt wurden verschiedene mobile Reinigungsverfahren hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten für Sportbooteignen untersucht. Im Vordergrund der Untersuchung standen die Handhabung der Geräte, die Effektivität der Reinigung, die Kontrolle der Rümpfe auf Beschädigungen und die Gewässerbelastung durch Abrieb und Waschwasser. In dem Zusammenhang sollten auch Auffangmöglichkeiten für den Bewuchs und Fragen der Genehmigungsfähigkeit sowie die Kosten aufgezeigt werden. Verfahren, die nach diesen Kriterien positiv beurteilt werden, stellen eine Alternative zum Einsatz biozidhaltiger Antifoulingbeschichtungen dar und sollten gefördert werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Versuche wurden im ersten Projektjahr 2012 auf zwei biozidfreien Beschichtungen durchgeführt: Einem Polyharnstoff der Firma Panadur und einem handelsüblichen Epoxid mit einem hydrophoben Zusatz. Im Projekt wurden folgende Geräte auf Ihre Eignung für die Reinigung von Sportbootrümpfen geprüft: Der *Big Easy Cleaner*, ein handgeführtes Reinigungsvlies mit Auffangnetz für den Bewuchs; der *Scrubmarine*, eine rotierende Bürste mit integrierter Absaugvorrichtung für den abgereinigten Bewuchs; eine rotierende *Beckmann-Bürste* mit Auffangvorrichtung für den Bewuchs; ein *Kärcher Hochdruckreiniger* mit Düse oder rotierender Bürste und ein *Caviblast*, der durch Kavitation (implodierende Sauerstoffbläschen) den Bewuchs ablöst. Im zweiten Projektjahr 2013 kamen mit dem *Tausendbein*, das wie eine „Leinenbürste“ unter dem Rumpf hin- her bewegt wird, sowie dem Reinigungsroboter *Hulltimo Pro* und der kleineren, handgeführten Variante *Hulltimo Smart* weitere Reinigungsverfahren hinzu.

Die Effektivität der Reinigung wurde 2012 an beschichteten Platten geprüft, die im Süßwasser („Norder Tief“) und im Salzwasser (Norderney) statisch ausgehängt wurden. Durch die Versuche sollte das maximal mögliche Reinigungsintervall ermittelt werden, in dem noch eine effektive Reinigung möglich war. Zudem wurden die Organismen der abgereinigten Bewuchsgemeinschaft auf ihre Lebensfähigkeit untersucht, um zu klären, ob durch die Reinigung eine Gefahr der Einschleppung fremder Arten bestehen könnte.

Im Projektjahr 2013 wurden im Süß- und Salzwasser Boote und kleinere Schiffe ohne Antifoulingbeschichtung, mit einer Hartbeschichtung der Firma Wohler oder mit Antihafbeschichtungen gereinigt. Hierbei kamen nur die Technologien zum Einsatz, die sich im Projektjahr 2012 als erfolgreich erwiesen hatten oder neu eingesetzt werden konnten: *Big Easy Cleaner*, *Tausendbein*, *Hulltimo* und *Caviblasters*. Zudem kam ein Taucher mit einem handgeführten Reinigungsgerät zum Einsatz.

Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Untersuchungsjahr wurde deutlich, wie groß die Bewuchsunterschiede in Meer- und Süßwasserrevieren sein können. Am Süßwasserstandort Norden konnten alle Reinigungsgeräte den Bewuchs fast vollständig entfernen. Am Meerwasserstandort Norderney reichte die Wirksamkeit aller Geräte mit Ausnahme des *Caviblasters* nicht aus, um den Bewuchs zu entfernen. Auch der von einem Taucher bediente Caviblasters benötigte dort für die Plattenreinigung mehr Zeit als für ein ganzes Schiff zumutbar wäre. Der Aufwand an Personal, Material und damit Kosten ist allerdings ungleich höher als bei allen anderen Methoden. Günstiger und schneller konnte ein Taucher mit Spachtel den fest sitzenden Meeresbewuchs entfernen.

Der *Big Easy Cleaner* und das *Tausendbein* stellen für bewuchsarme Süßwasserreviere eine effektive und handhabbare Alternative dar. Im Meerwasser ermöglicht nur der BEC evtl. eine ausreichende Wirkung, allerdings nur bei sehr kurzen Reinigungsintervallen. Die *Beckmann Bürste* und der *Srubmarine* waren nicht wirksam genug, letzterer außerdem in der Handhabung zu aufwendig und im Preis zu teuer. Der *Kärcher Hochdruckreiniger* stellte keine anwendbare Alternative dar. Der Bürstenkopf war zu weich und der Hochdruckstrahl verlor im Wasser zu schnell an Druck. Zudem würde bei intensiver Anwendung in den Häfen die Lärmbelastung ein großes Problem darstellen.

Die Rumpfreinigungen der Boote in 2013 zeigten erneut die Unterschiede zwischen Süß- und Meerwasserbewuchs. Bei der Geschwindigkeit und Üppigkeit der Bewuchsentwicklungen muss im Salzwasser mit einem Reinigungsintervall von ein bis zwei Wochen gerechnet werden.

Aber auch im Süßwasser gibt es deutliche Unterschiede hinsichtlich des Bewuchsdrucks und der damit verbundenen Frequenz der notwendigen Reinigungen. Die Bewuchsentwicklung auf den Booten in Berlin, im Bodensee und teilweise auch in der Alster zeigte, dass es vornehmlich zu einer Biofilmbildung kommt, die mit einfachem Aufwand gereinigt werden konnte.

Größere Probleme können im Süßwasser in Revieren auftreten, in denen dichte Populationen von Zebramuscheln vorkommen. In solchen Binnengewässern kann daher auf eine zweiwöchentliche Kontrolle der Bewuchsentwicklung nicht verzichtet werden, da eine Reinigung im Biofilm-Stadium erfolgen muss bevor die Muscheln zu groß und deren Haftung zu stark geworden ist.

Sollte dieser Zeitpunkt verpasst werden, muss das Boot aus dem Wasser genommen werden, um den Bewuchs an Land mit einem Hochdruckwascher zu entfernen. Diese Notlösung wäre sowohl im Süß- als auch im Salzwasser bei Überschreiten des Bewuchses über das Biofilmstadium hinaus immer möglich.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Projektergebnisse wurden auf der „boot 2014“ in Düsseldorf auf einem Stand der DBU und auf zwei Vortragsveranstaltungen während der Messe präsentiert. Ebenso wurden auf der „boatfit 2014“ in Bremen die Projektergebnisse auf einem Stand gezeigt und in einer Vortragsveranstaltung präsentiert. Im Rahmen der Pressearbeit wurden in Fachzeitschriften der Farbindustrie, populärwissenschaftlichen Magazinen und einigen Sportbootzeitschriften Artikel veröffentlicht, in denen auf das Projekt Bezug genommen wurde. Die DBU veröffentlichte in „DBU aktuell“ eine kurze Vorstellung des Projektes und erstellte für die Bootsausstellungen und weitere Öffentlichkeitsarbeit ein Faltblatt.

Fazit

Die Untersuchungen in 2012 und 2013 haben eindrucksvoll gezeigt, wie groß der Unterschied bezüglich der Bewuchsentwicklung im Meer- und im Süßwasser sein kann. Da rund zwei Drittel aller Sportboote in Deutschland im Süßwasser liegen und nur ein Drittel in den Salz- und Brackwasserrevieren von Nord- und Ostsee (Watermann et al. in prep.), ist es ratsam, sich zunächst auf dieses Einsatzgebiet für Reinigungsgeräte zu konzentrieren. In Süßwasserrevieren kann die Reinigung von Sportbootrümpfen eine Alternative zum Einsatz von biozidhaltigen Antifoulingbeschichtungen sein.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	9
1.1	Aufwuchsproblematik – Was ist Bewuchs	10
1.2	Der Unterschied zwischen Süß- und Salzwasserbewuchs.....	14
2	Plattenversuche 2012.....	15
2.1	Materialtests	15
2.1.1	Panadur	16
2.1.2	WEST System Epoxy mit Additiven von BYK-Chemie.....	16
2.2	Mobile Reinigungsgeräte	16
2.2.1	Beckmann RW Rotierende-Waschbürste (BB)	16
2.2.2	Big Easy Cleaner (BEC)	18
2.2.3	Scrubmarine (SM).....	21
2.2.4	Kärcher Hochdruckreiniger (KÄ)	24
2.2.5	Nordseetaucher mit Caviblaste TM (NT).....	28
2.3	Teststationen.....	31
2.3.1	Norderney (Meerwasser)	31
2.3.2	Norden in Ostfriesland (Süßwasser)	32
2.4	Testmethoden	34
2.5	Ergebnisse	36
2.5.1	Reinigungserfolg	36
2.5.2	Beckmann RW Rotierende-Waschbürste (BB)	36
2.5.3	Big Easy Cleaner (BEC)	40
2.5.4	Scrubmarine (SM).....	45
2.5.5	Kärcher Hochdruckreiniger (KÄ)	51
2.5.6	Caviblaste (NT), Nordseetaucher	56
2.5.7	Abriebtests	60
2.5.8	Effektivität des Auffangsystems	62
3	Boots- und Schiffsversuche 2013.....	66
3.1	Testboote/-schiffe und Testbeschichtungen	67
3.1.1	„Frisia VIII“	68
3.1.2	Motorsegler „Beluga II“	69
3.1.3	Segelboot „Windsbraut“	71
3.1.4	PE-Motorboot: „King Louis“	72
3.1.5	DLRG-Schlauchboot „Manni“	73
3.1.6	Segelboote „Makowski“ und „Sawatzki“	74
3.1.7	Motorboot „FN 1008“	75
3.1.8	Motorboot „Olli“	76
3.1.9	Patrouillenboot „W16“	77
3.2	Mobile Reinigungsgeräte	78
3.2.1	Tausendbein	78
3.2.2	Hulltimo	79
3.2.3	Beckmann RW Rotierende-Waschbürste (BB)	82
3.2.4	Big Easy Cleaner (BEC)	82
3.2.5	Nordseetaucher mit Caviblaste TM (NT).....	82
3.3	Revier bzw. Standort der Schiffe	82
3.3.1	Salzwasser: Norderney - Nordsee	82
3.3.2	Süßwasser: Hamburg, Bodensee, Potsdam, Hannover.....	83
3.4	Ergebnisse der Bootsreinigungen.....	83

3.4.1	„Frisia VIII“	83
3.4.2	„Windsbraut“	85
3.4.3	„Beluga II“	92
3.4.4	Motorboot „King Louis“	102
3.4.5	PP-Rettungsboot „Manni“	108
3.4.6	Segelboote „Makowski“ und „Sawatzki“	109
3.4.7	Motorboot „FN 1008“	123
3.4.8	Motorboot „Olli“	124
3.4.9	Patrouillenboot „W16“	125
3.5	Ergebnisse zur Gewässergüte	128
4	Diskussion	131
4.1	Versuche 2012	131
4.1.1	Reinigungsgeräte	131
4.1.2	Reinigungsleistung	131
4.1.3	Auffangvorrichtung	133
4.1.4	Praktikabilität und Marktfähigkeit	133
4.1.5	Beschichtungen	135
4.2	Versuche 2013	137
4.2.1	Rumpfreinigungen	137
4.2.2	Eignung der Reinigungstechniken für unterschiedliche Boots-/ Schiffstypen	140
4.2.3	Gewässerbelastung durch Rumpfreinigung	146
4.2.4	Zusammenfassung und Perspektive	149
5	Literatur	155

1 Einleitung

Das Forschungsprojekt „*Erprobung von Reinigungsverfahren der Unterwasserbereiche von Sportbooten und küstenoperierenden Schiffe als Bewuchsschutz-Alternative – Materialbelastung, Effektivität und Gewässerbelastung*“ ist eines von drei Projekten zum Thema Unterwasserreinigung von Sportbooten, die im Jahr 2012-2013 von der DBU gefördert wurden. In diesen Projekten sollte erprobt werden, ob die regelmäßige Reinigung von Bootsrümpfen während der Saison im Wasser eine Alternative zu dem Einsatz überwiegend biozidhaltiger Antifoulingprodukte darstellen kann. Es sollten die Einsetzbarkeit, Leistungsfähigkeit, aber auch die Grenzen und Schwierigkeiten der Bewuchsentfernung durch Reinigung ermittelt werden.

Im ersten Projektjahr 2012 lag der Schwerpunkt der Arbeiten in der Erprobung verschiedener mobiler handgehaltener Reinigungsgeräte hinsichtlich Effektivität und Handhabung an Testplatten, welche in unterschiedlichen zeitlichen Abschnitten abgereinigt werden sollten. Das Prinzip mobiler Reinigungsverfahren stand zwei anderen Forschungsprojekten gegenüber, in denen stationäre Anlagen getestet wurden. Im Projektjahr 2013 konzentrierten sich die Arbeiten im Wesentlichen darauf, die in 2012 getesteten und für sinnvoll befundenen Reinigungstools an Sportbooten und kleineren operierenden Küstenbooten hinsichtlich ihrer Effektivität, Handhabbarkeit, Gewässerbelastung und Kosten zu testen.

Da neben dem Reinigungsgerät die Beschichtung eine entscheidende Rolle für die Erfolgsaussichten eines Reinigungsverfahrens spielt, wurden mehrere reinigungsfähige Beschichtungen auf ihre Eignungsfähigkeit untersucht. Die Beschichtungen sollten auf jeden Fall so beständig sein, dass sie durch den mechanischen Einfluss zahlreicher Reinigungsvorgänge nicht beschädigt wurden, bzw. der entstehende Abrieb so gering war, dass eine hohe Standzeit erreicht werden konnte. Auf der anderen Seite sollten die Beschichtungen Eigenschaften besitzen, die eine schnelle und feste Anhaftung der Bewuchsorganismen verringern, um bei möglichst ausgedehnten Reinigungsintervallen noch einen Reinigungserfolg zu gewährleisten. Denn ab einer bestimmten Haftfestigkeit können einige Organismen nicht mehr durch Reinigung, gleich welcher Methode entfernt werden, ohne obere Lagen der Beschichtung mit zu entfernen. Die Adhäsion zum Untergrund ist diesen Fällen stabiler als der Organismus selbst. Kalkhaltige Basalplatten von

Seepocken oder auch Austernschalen können dann nur noch durch Abschaben oder Schleifen entfernt werden, aber nicht mehr durch Bürsten, Pads oder Schwämme.

Demzufolge spielt auch das Bewuchsvorkommen der Einsatzgebiete eine entscheidende Rolle. In puncto Bewuchsstärke und -zusammensetzung besteht dabei ein deutlicher Unterschied zwischen Süß- und Meeresgewässern. Wegen der großen Bedeutung des Verständnisses von Bewuchsansiedlung, -entwicklung und -verteilung für dieses Projekt werden diesen Themen die zwei folgenden Kapitel gewidmet.

1.1 Aufwuchsproblematik – Was ist Bewuchs

Feste Oberflächen in aquatischen Lebensräumen, so genannte Hartböden, werden über kurz oder lang von festsitzenden, pflanzlichen und tierischen Organismen besiedelt. Dies betrifft sowohl die natürlichen Hartböden (Felsen, Molluskenschalen, Treibholz), als auch die künstlichen Substrate (z. B. Schiffsrümpfe und wasserbauliche Anlagen aus Holz, Metall und Kunststoffen).

Organismengesellschaften auf lebenden Substraten (z. B. Schneckengehäuse, Krebspanzer, Alge) bezeichnet man als Aufwuchs (Epibiose), auf nicht lebenden Substraten (z.B. Schiffsrümpfen) bezeichnet man sie als Bewuchs (engl. Fouling). Ein typischer Besiedlungsverlauf einer Bewuchsgemeinschaft lässt sich wie folgt beschreiben: Zunächst bildet sich ein makromolekularer Film aus Zucker, Eiweißen etc., der die Anheftung von Bakterienzellen begünstigt und ihnen gleichzeitig als Nahrung dient. Der Besiedlung durch Bakterien folgen Einzeller (einzellige Algen, Tiere und Pilze). Durch die von den Mikroorganismen ausgeschiedenen Stoffe entsteht ein schleimartiger Film, der sogenannte 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 der Besiedlungssukzession lautet vereinfacht:

Organischer Film → Einzeller → Mehrzeller (siehe Abb. 1)

Es wird vermutet, dass jede der vorhergehenden Phasen die nachfolgende stark beeinflusst, sie oftmals sogar erst ermöglicht. Umgekehrt kann aber Makrobewuchs nicht durch die Verhinderung von Mikrofoouling vermieden werden.

Zum tierischen Makrobewuchs gehören Muscheln, Röhrenwürmer und Seepocken. Alle Bewuchsorganismen besitzen die Fähigkeit Exkrete herzustellen, die als Klebstoff aushärten und sehr effektiv die Haftung auf einem Substrat gewährleisten. Hat sich der Bewuchs erst einmal festgesetzt, breitet er sich rasch auf der Oberfläche 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 geeignete Oberfläche aufsuchen können.

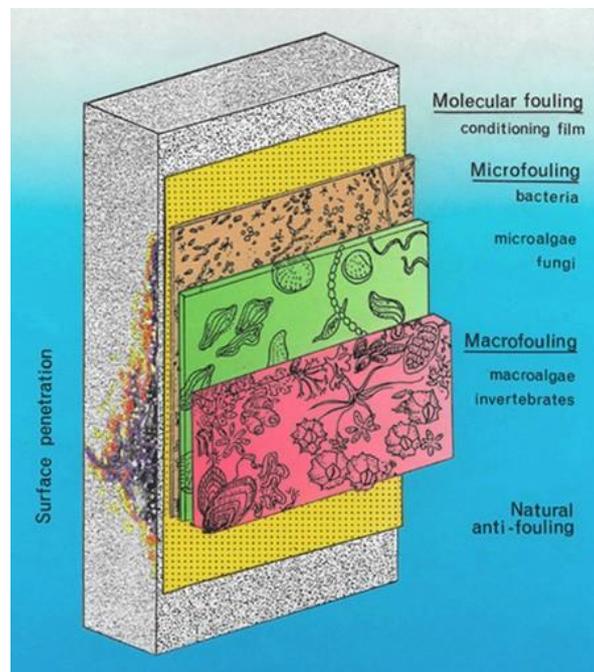


Abb. 1: Schematisierte Abfolge der Besiedlungssukzession [Quelle: Natural Environmental Research Council (NERC)].

In der folgenden Tabelle 1 sind die wichtigsten Bewuchsorganismen aufgeführt. Detaillierte Informationen und Fotos der Bewuchsorganismen finden sich auch unter <http://www.bewuchs-atlas.de> im dortigen Organismenlexikon.

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 starker Bewuchs entwickelt. Dies ist in nährstoffreichen, tropischen Gewässern ganzjährig der Fall. In den gemäßigten Breiten ist die Bewuchsentwicklung 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. So wurde beispielsweise an der ostfriesischen Küste 2009 ein sehr starker Larvenfall der gekerbten Seepocke *Balanus crenatus* registriert, der in den Vorjahren nicht stattgefunden hatte (Abb. 2). Stattdessen hatte die an mildere Temperaturen angepasste Australische Seepocke *Elminius modestus* dominiert.

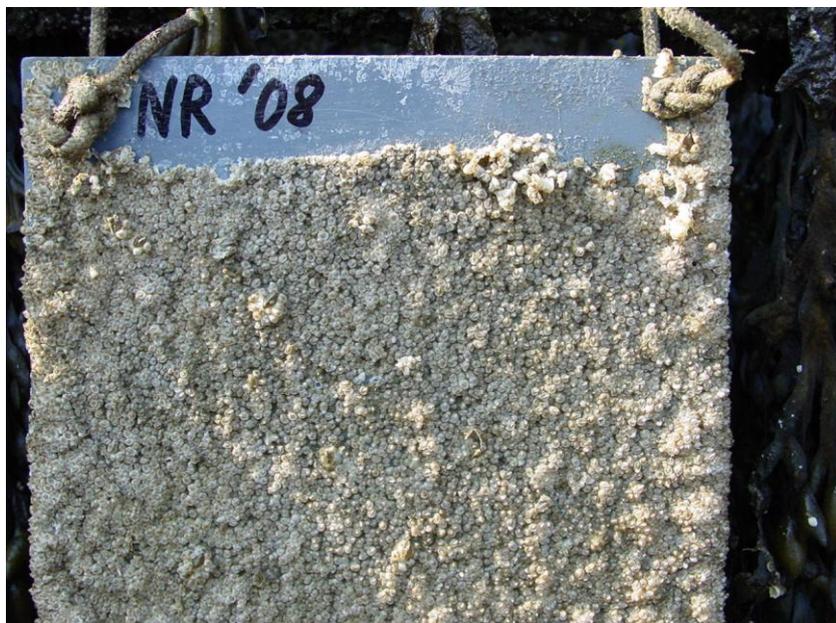


Abb. 2: Bereits am 24. April 2009 war diese Referenzplatte vollständig mit einer neuen Generation von Seepocken (*Balanus crenatus*) bedeckt.

Auch der Bewuchsdruck durch Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) oder Austern (*Crassostrea gigas*) ist nicht in jedem Jahr gleich. Eine Ursache dafür ist der von Jahr zu Jahr variierende Temperaturverlauf. Es spielen aber auch noch andere Faktoren wie z.B. Strömungen eine Rolle, in denen die Larven und Sporen verdriftet werden. Generell kann man davon ausgehen, dass es nach kalten Eiswintern zu starken Larvenfällen der meisten Arten kommt. Die Tiere reagieren damit auf die hohe Sterblichkeit während des Winters.

In einigen Jahren dominieren im Frühjahr zunächst die Algen. Dies ist insbesondere nach längeren sonnigen und windstillen Perioden der Fall.

Tab. 1: Die wichtigsten Bewuchsorganismen in Salz- und Süßwasser

Tierstamm	Gruppe	Salzwasser	Süßwasser
Porifera (Schwämme)	-	z.B. <i>Halichondria panicea</i> (Brotschwamm)	-
Cnidaria (Hohltiere)	Hydrozoa, Generationswechsel von Polyp (sessil, koloniebildend) und freischwimmender Meduse	z.B. <i>Clava multicornis</i> (Keulenpolyp), <i>Coryne pulsilla</i> (Kolbenpolyp), Korallen	<i>Cordylophora caspia</i> (Brackwasserpolyp), <i>Hydra viridis</i> (grüne Hydra / Süßwasserpolyp)
	Anthozoa (Blumentiere)	z.B. <i>Actinia equina</i> (Pferdeaktinie), Seeanemonen	-
Tentaculata (Kranzföhler)	Bryozoa (Moostierchen), sessil, koloniebildend	z.B. <i>Electra crustulenta</i> (Krusten-Moostierchen), <i>Electra pilosa</i> (Zottige Seerinde)	Plumatella spp. (z.B. gekieltes Moostierchen)
Annelida (Ringelwürmer)	Polychaeta (Vielborster)	Sedentaria (Röhrenwürmer)	-
Mollusca (Weichtiere)	Bivalvia (Muscheln)	<i>Mytilus edulis</i> (Miesmuschel), <i>Crassostrea gigas</i> (Paz. Auster)	<i>Dreissena polymorpha</i> (Zebrauschel), <i>Sphaerium</i> spp.
Arthropoda (Gliedertiere)	Crustacea (Krebse)	Seepocken, Entenmuscheln	-
	Insecta	Chironomiden-Larven	die im Wasser lebenden Larven vieler Insektenarten bilden sog. Wohnröhren aus anorganischen Partikeln
Chordata	Tunicata (Manteltiere)	Ascidien (Seescheiden), solitäre Arten z.B. <i>Styela clava</i> oder koloniebildende Arten wie <i>Botryllus schlosseri</i> und <i>B. leachi</i>	-
Pflanzenstamm	Gruppe	Salzwasser	Süßwasser
Chlorophyta (Grünalgen)	Ulotrichales, Cladophorales, Ulvales	Ulothrix spp., Cladophora spp. (Astalge), Ulva spp. (Meersalat, Darmtang)	Ulothrix spp. (Kraushaaralge), Cladophora spp. (Astalge), Chaetophora spp. (Borstengrünalge), Coleochaete spp. (Schildgrünalge), Chlorotylum spp. (Knotengrünalge)
Phaeophyta (Braunalgen)	Ectocarpales, Fucales	Ectocarpus spp. (Felsenfaseralge), Fucus spp. (Blasentang)	-
Rhodophyta (Rotalgen)	Ceramiales, Bangiales	<i>Ceramium virgatum</i> (Roter Horntang), Polysiphonia spp., <i>Bangia atropurpurea</i> (Mühlradalge), Porphyra spp. (Purpurtang)	<i>Bangia atropurpurea</i> (Mühlradalge)

Hinsichtlich der regionalen Unterschiede in deutschen Gewässern ist zu betonen, dass bestimmte nährstoffreiche Häfen und Buchten wie z.B. die Trave-, die Warnow-Mündung oder auch die innere Schlei extrem starke Bewuchsverhältnisse aufweisen. Aber sogar noch kleinräumigere Unterschiede wie die Lokalisation des Liegeplatzes im Hafen können zu erheblichen Unterschieden im Bewuchs führen. Dieses ist für die Kontrolle des Bewuchses zur Bestimmung des optimalen Reinigungszeitpunkts von enormer Bedeutung.

1.2 Der Unterschied zwischen Süß- und Salzwasserbewuchs

Aufgrund des geringen Kalziumgehalts im Süßwasser gibt es dort nur wenige Makroorganismen, die Schalen ausbilden können. Zu den wenigen gehören einige Süßwassermuscheln darunter besonders die Zebra- oder Dreimuschel *Dreissena polymorpha*, die sich aufgrund der zunehmend besseren Wasserqualität in den Frischwasserrevieren erheblich ausbreitet. Am problematischsten aber ist im Süßwasser der Mikrobewuchs. Die Erfahrungen aus bundesweiten Plattentests haben gezeigt, dass sich innerhalb dieses Mikrofilms häufig Kalk ausscheidende Mikroalgen befinden, die teilweise sehr dicke, feste und krustenartige Filme bilden können.

Vergleicht man den Bedeckungsgrad zwischen Makro- und Mikrobewuchs im Süßwasser so stellt sich häufig heraus, dass der Mikrofilm die Fläche mit 100% komplett abdeckt, während der Makrobewuchs häufig nur örtlich auf der Platte dichte Aufwuchsgemeinschaften bildet und insgesamt selten einen Bedeckungsgrad von 60% überschreitet (Abb. 3, rechts).

Im Salzwasser dagegen spielt der Mikrobewuchs nur eine geringe Rolle. Er wird schon frühzeitig vom Makrobewuchs überdeckt. Der hohe Kalziumgehalt im Salzwasser erlaubt es vielen Makroorganismen, Kalkgerüste bzw. Kalkschalen auszubilden. Des Weiteren verfügen sie über weitaus stärkere Haftmechanismen als der Makrobewuchs im Süßwasser. Beginnen sich Organismen wie Seepocken oder Muscheln anzusiedeln, können sie binnen kurzer Zeit sehr dichte und fest sitzende Bewuchsgemeinschaften bilden (Abb. 3, links).

Die Haftung des Bewuchses im Süß- und Salzwasser unterscheidet sich ebenfalls: Die marinen Makroorganismen weisen eine extreme Härte und Festigkeit auf, während der Makrobewuchs im Süßwasser im Durchschnitt nur eine geringe bis

mäßige Haftung erzielt. Anders sieht es für den Mikrobewuchs aus. Im Süßwasser zeigen Biofilme häufig eine gleiche Haftung wie im Salzwasser.



Abb. 3: Unterschiede in Bewuchsstärke und -Zusammensetzung zwischen einem marinen Standort (links: Norderney, Nordsee 2004) und einem limnischen Standort (rechts: Duisburg, Sechs-Seen-Platte 1997).

2 Plattenversuche 2012

2.1 Materialtests

Für die Reinigungsversuche im marinen Wasser von Norderney und im limnischen Wasser von Norden wurden für die je vier Reinigungsmethoden je vier GFK-Platten der Größe 100 * 50 cm angefertigt.

Für die Materialtests wurden für die insgesamt fünf Reinigungsmethoden je fünf Platten aus GFK, Schiffsbau-Sperrholz und Stahl in Größen von 50 * 50 cm oder ähnlich benötigt. Sämtliche GFK-Platten wurden vom Fachbetrieb für Bootsbau von der Linden in Wesel angefertigt und von LimnoMar dort abgeholt. Die Platten aus Bootsbau-Sperrholz wurden von der Fachfirma für Bootsbau-Hölzer Georgius in Bremen angefertigt und zugeschickt. Die Stahlplatten stammen aus einem Altbestand von LimnoMar. Sie wurden vom Norderneyer Tonnenhof geschnitten, bis auf den Stahl gestrahlt, und anschließend von LimnoMar zur Beschichtung an die Firmen Panadur und zur von der Linden GmbH geschickt.

2.1.1 Panadur

Die Panadur-Beschichtung wird vom Hersteller als kratzfest und antimikrobiell, aber frei von Silber und anderen Nanobestandteilen deklariert. Sie enthält Polyharnstoffe. Varianten der Panadur-Beschichtungen wurden zuvor für zahlreiche Anwendungen eingesetzt, hierzu gehörten die Windenergie und Schwimmbäder. Die Schifffahrt gehörte bislang nicht dazu. In bilateralen Vorversuchen mit LimnoMar in 2011 hatte sich die Beschichtung als reinigungsbeständig und zugleich haftungsmindernd für den Bewuchs erwiesen und wurde deshalb für die Versuche ausgewählt.

2.1.2 WEST System Epoxy mit Additiven von BYK-Chemie

Auch das zweite Beschichtungssystem ist eine Neuheit. Hierfür wurden der im Sportbootsektor etablierten Epoxid-Beschichtung von WEST System Additive der BYK-Chemie beigegeben, die die Haftung der Bewuchsorganismen mindern sollten. Die Planung, Koordination und Ausführung oblag der innovativen Firma von der Linden, einem anerkannten Händler und Berater in Sachen Bootsbau.

2.2 Mobile Reinigungsgeräte

2.2.1 Beckmann RW Rotierende-Waschbürste (BB)

Dieses System wurde für die Reinigung von Gewächshaus, Wintergarten, Fenster, Auto usw. entwickelt, wird aber auch schon für Schiffsrümpfe eingesetzt, allerdings zumeist nach dem Auswassern der Boote. Der interne Borstenkörper dreht sich durch den Wasserdruck von ca. 1 bar. Es entsteht ein starker Wirbel, der eine reinigende Wirkung entfalten soll. Das Gerät aus stabilem Kunststoff kann mit einem 2-teiligen Verlängerungsrohr auf 160 cm verlängert werden. Die Bürste besitzt ein Gelenk zur optimalen Arbeitsstellung und einen Anschluss für alle marktüblichen Schlauch-Stecksysteme (Abb. 4 und 5).

Das Gerät wurde für 33,- € bei Amazon gekauft. Zum Auffangen des Bewuchses wurde ein Kescherkopf für 16,- € in einem Internetshop für Anglerbedarf gekauft. Die teuerste Position war die Montage der Kescherkopfes an die Bürste durch eine Schlosserei (134,- €). Die Gesamtkosten für den Prototyp belaufen sich somit auf 183,- €. Bei diesem Gerät sollte geprüft werden, wie die Wirksamkeit beim Einsatz

unter Wasser ist. Aufgrund der eher weichen Beschaffenheit der Borsten wurde dieses System nur im Süßwasser getestet.



Abb. 4: Beckmann Rotierende-Waschbürste.



Abb. 5: Rotierende-Waschbürste von Beckmann mit Auffangkorb und rotierendem inneren Bürstenkranz.

2.2.2 Big Easy Cleaner (BEC)

Beim Big Easy Cleaner (BEC) ist an einer stabilen Aluminium-Stange mit Gelenken ein länglicher Reiniger befestigt. In der Segelbootversion handelt es sich um spezielle Reinigungsvliese in unterschiedlichen Rauigkeiten, die je nach Stärke des Bewuchses aufgezogen werden können. In der Motorbootversion sind drei Bürstenstreifen angebracht, die auch zwischen den Stringern reinigen können. Durch den Auftrieb des Spezial-Kunststoffs und eines eingebauten Luft-Schlauch liegt der Andruck an den Rumpf laut Hersteller bei 9 Kg (Abb. 6).

Das Gerät wurde in beiden Versionen vom Hersteller zur Verfügung gestellt, es kam aber nur die Segelbootversion zum Einsatz. Zur Lieferung, Einweisung und Demonstration kam der Entwickler Herr Reineke nach Norderney.

Zum Auffangen des durch den BEC ab gereinigten Bewuchses hatte der Hersteller selbst einen Prototypen eines Unterwasserkeschers angefertigt, der sich je nach Neigung des Reinigungsvlieses stets unterhalb befindet (Abb. 7 und 8).

Die Kosten für einen BEC inklusive Ersatzvliese, aber ohne Auffangvorrichtung liegen bei 150,- €.



Abb. 6: Segelbootversion des Big Easy Cleaner BEC.



Abb. 7: Segelbootversion des Big Easy Cleaner BEC mit Auffangkorb in zwei unterschiedlichen Winkelstellungen.



Abb. 8: Anwendung des Big Easy Cleaner BEC auf Testplatten.

2.2.3 Scrubmarine (SM)

Das System Scrubmarine besteht aus einem kompakten Scheuerkopf, der eine mechanisch gefahrene, drehende Bürste (optional mit einer integrierten Fisch-Augenkamera) an einem teleskopischen Handgriff enthält. Eine High-Output Pumpenmaßeinheit ist über flexible Saugschläuche verbunden und entlässt das Waschwasser über Abwasserschläuche in grobe oder feine Filter (Abb. 9).

Der Bürstenkopf soll sich durch Unterdruck am Rumpf festsaugen, und die rotierende Bürste den Bewuchs entfernen. Ein optional integrierbarer Kettenriemen würde den beweglichen rotierenden Bürstenkopf in die Lageversetzen, den gesamten Bootsrumf abzutasten.

Der Bewuchs wird während der Reinigung über einen in der Bürste verankerten Schlauch permanent abgesaugt und kann am Steg über einen Grob- und Feinfilter aufgefangen werden. Eine Demonstration der Funktionsweise des Scrubmarine Reinigungssystems ist im Internet zu sehen:

http://www.scrubmarine.com/scrub_de/Film.html.



Abb. 9: Gesamtsystem des Scrubmarine (oben und Mitte), Bürstenkopf (unten)

Für die Versuche in diesem Projekt stellte die Firma Scrubmarine nach vielen telefonischen, schriftlichen und persönlichen Terminen eine sogenannte „Box-Unit“ zusammen und kostenlos zur Verfügung. Diese Version verfügte lediglich über den Motor in einer Plastikbox, Saug- und Entladungsschlauch sowie Bürstenkopf. Nach Anforderung wurde ein Filter nachgesendet. Es fehlte aber ein Griff für den Bürstenkopf. Dadurch war die Anwendung des Bürstenkopfes sehr unkomfortabel (Abb. 10). Dabei hätte es für die erste Versuchsphase auf Platten des neigungsfähigen Armes (s. Abb. 9 oben) nicht bedurft. Eine starre Griffstange wie in Abbildung 9 Mitte wäre ausreichend gewesen.

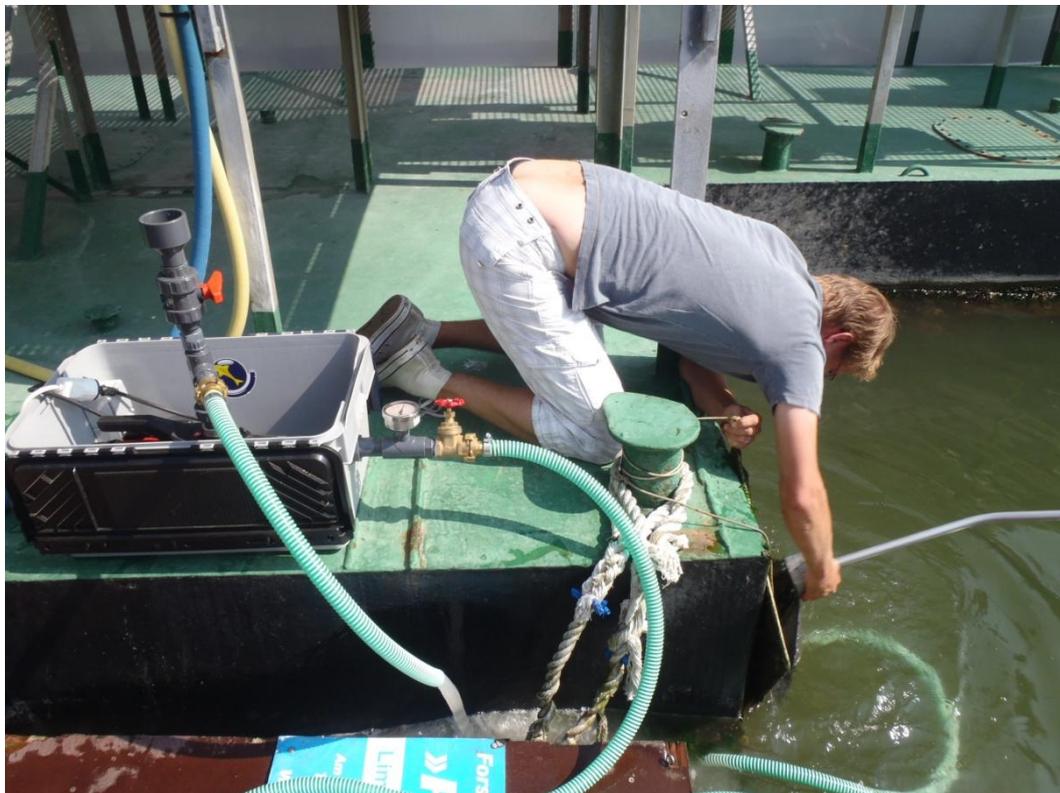


Abb. 10: Anwendung des Scrubmarine Systems mit improvisierter Griffstange.

Der Preis für das Scrubmarine System variiert stark in Abhängigkeit von der konkreten Zusammenstellung der Anlage. Die teuerste Version inkl. Kamera und Monitor liegt bei 8000,- €. Anstatt eines Monitors denkt der Hersteller über die Visualisierung der Kamerabilder per Brille nach.

Der Preis für die einfachste Ausstattung wie für dieses Projekt ist nicht bekannt.

2.2.4 Kärcher Hochdruckreiniger (KÄ)

Es wurden Tests mit einem handelsüblichen Hochdruckreiniger von Kärcher aus dem Bestand von LimnoMar durchgeführt. Die Firma Kärcher stellte eine große Auswahl an Teleskoparmen, Düsen, rotierenden Bürsten sowie diversen Kleinteilen kostenlos zur Verfügung. Die Firma Kärcher experimentiert intern seit einigen Jahren mit Hochdruckreinigern für die Bootsreinigung. Der Einsatz im Seewasser erforderte eine spezielle Auslegung der Kompressoren, um diese korrosionsbeständig zu machen. Zudem stellten die Schwebstoffe im Süß- wie im Salzwasser ein großes Problem hinsichtlich des Verschleißes der Pumpen dar. Beide Probleme sollen in den Versuchen durch Spülen der Geräte nach den Reinigungsvorgängen mit Leitungswasser reduziert werden.

Sofern allerdings ein Süßwasseranschluss am Steg vorhanden ist, wird der Eigner ohnehin auf diesen zurück greifen, um das Gerät und die Komponenten möglichst nicht dem korrosiven Seewasser auszusetzen. Für diese Versuche stellten die DGZRS auf Norderney und die Firma Bootsbau Eggers in Norden ihre Süßwasseranschlüsse dankenswerter Weise kostenlos zur Verfügung.

In der ersten Versuchsphase sollte in erster Linie die wirksamste Variante des Kärcher Systems ermittelt werden (Abb. 11-14). Die Entwicklung eines geeigneten Auffangsystems für den ab gereinigten Bewuchs erfolgt gegebenenfalls in einer zweiten Phase angepasst an die wirksamste Variante.

Die Kosten für den Hochdruckreiniger als Basis inklusive der Vario-Lanze liegen bei ca. 500,- €, da günstigere Geräte nicht die erforderliche Leistung bieten.



Abb. 11: Kärcher Hochdrucksystem mit Bürstenkopf.



Abb. 12 und 13: Kärcher Hochdrucksystem mit Dreckfräse und verstellbarem Griff.



Abb. 14: Kärcher Hochdrucksystem mit Dreckfräse und starrem Griff.

2.2.5 Nordseetaucher mit Caviblaster™ (NT)

Die Firma CaviDyne entwickelte eine Technologie für die Unterwasserreinigung von Schiffskörpern und Unterwasserkonstruktionen. Der CaviBlaster™ basiert auf den Grundsätzen der Kavitation, bei der die durch ein eigenes System generierten Luftblasen zerplatzen und so ein Vakuum erzeugen, welches den Bewuchs schnell und sicher entfernt (Nordseetaucher, 2011). Neben Ausführungen des Caviblasters für die Großschifffahrt werden auch kleinere Versionen angeboten, welche für den Einsatz auf Sportbooten getestet werden sollten (Abb. 15 und 16), www.cavidyne.com).

Der Einsatz dieses mobilen Kavitationssystems wurde 2012 an zwei Terminen auf Norderney hinsichtlich seiner Handhabbarkeit, Materialbelastung und Effektivität untersucht (Abb. 17 – 19). Im Süßwasser von Norden kam diese Technik nicht zum Einsatz, da sie bei dem dort geringen Bewuchsdruck zu aufwendig erschien.



Abb. 15: Die mobile Einheit des Caviblasters wird mit dem Klein LKW transportiert.



Abb. 16: Düse des Caviblasters



Abb. 17: Vorbereitung des Tauchers. Neben dem Taucher sind zwei weitere Mitarbeiter nötig, um die Sicherheit zu gewährleisten.



Abb. 18: Einstieg des Tauchers u.a. mit Kamerakabel.



Abb. 19: Reinigung einer Testplatte mit dem Caviblaster ca. 1 m unterhalb der Wasseroberfläche.

Die genauen Kosten für einen derartigen Einsatz hängen von der Lage und den Einsatzbedingungen ab. Für die Inspektionen auf Norderney war die Firma Nordseetaucher mit drei Mitarbeitern inklusive An- und Abfahrt fast einen ganzen Tag unterwegs. Der Einsatz dauerte mit Vor- und Nachbereitung der Gerätschaften etwa zwei Stunden. Die Kosten lagen bei ca. 800,00 €.

2.3 Teststationen

2.3.1 Norderney (Meerwasser)

Der Test im Seewasser erfolgte an dem Auslagerungsponton POCKE der Marinen Versuchsstation von LimnoMar im Norderneyer Hafen (Abb. 20). Der Ponton schwimmt mit der Tide auf und ab wie ein Schiff, so dass die Platten ständig von Wasser bedeckt sind.

Da von den fünf Reinigungssystemen die Beckmann Bürste hier nicht zum Einsatz kam, wurden je vier Platten mit Panadur und vier Platten mit WEST + BYK eingehängt.



Abb. 20: Auslagerungsponton im Norderneyer Hafen.

2.3.2 Norden in Ostfriesland (Süßwasser)

Im Süßwasser erfolgte der Test im Norder Tief, einem Süßwasserkanal, der primär der Entwässerung dient und sekundär stark von Sportbooten frequentiert wird, die bei Greetsiel durch den Deich in das ostfriesische Wattenmeer geschleust werden können. Das Norder Tief ist aber ein stehendes Süßgewässer. Die Platten wurden im Einflussbereich der Firma Bootsbau Eggers und des Norder Yachtclubs an einer Kaimauer in das Wasser gehängt (Abb. 21 und 22). Da von den fünf Reinigungssystemen hier der Caviblastler nicht zum Einsatz kam, wurden auch hier je vier Platten mit Panadur und vier Platten mit WEST + BYK eingehängt.



Abb. 21: Norder Hafen.



Abb. 22: Auslagerungskai im Norder Hafen.

2.4 Testmethoden

Die Testplatten zur späteren Reinigung wurden zu Beginn der Bewuchssaison gemäß der ASTM-Methode D 3623-78a , Standard Method for Testing Antifouling Panels in Shallow Submergence' im Norderneyer Hafen in 20 cm Wassertiefe und in Norden direkt unter der Wasserlinie ausgelagert (s. Abb. 20 und 22).

Die Inspektionen fanden auf Norderney aufgrund des höheren Bewuchsdrucks in kürzeren Abständen statt als im Süßwasser des Norder Tiefs. Lediglich die Reinigung mittels Caviblasten durch die Nordseetaucher fand auf Norderney nur zweimal statt. Einerseits wäre ein häufigerer Einsatz aus Kostengründen unrealistisch, andererseits wurde erwartet, dass mit diesem System auch noch eine Reinigung möglich wäre, wenn der Bewuchs für andere Systeme schon zu fest haftet.

Zur besseren Übersicht sind alle Daten in Tabelle 2 zusammengefasst.

Bei den Inspektionen wurde die Bewuchsbedeckung nach der vorgeschriebenen Methode ASTM D 6990-03 ,Standard Practice for Evaluating Biofouling Resistance and Physical Performance of Marine Coating Systems' protokolliert und fotografiert. Dabei wurde auch das Arteninventar der Aufwuchsgemeinschaft auf den Platten erfasst. Nach der Reinigung erfolgte eine zweite Begutachtung, um den Reinigungserfolg zu dokumentieren.

Tab 2: Terminplan des DBU-Reinigungsprojekts in 2012

DBU Testkampagne 2012						
Datum	Aktion	Norden	Norderney	Geräte	Reinigungs- fläche	
					halb	ganz
17. Mai	Auslagerung	X				
22. Mai	Auslagerung		X			
7. Juni	1. Inspektion		16	BB, BEC, SM		
19. Juni	1. Inspektion		28	KÄ		
21. Juni	1. Inspektion	35		alle		
5. Juli	2. Inspektion		44	BEC		
9. Juli	2. Inspektion		48	KÄ		
11. Juli	2. Inspektion		50	SM		
20. Juli	1. Inspektion		59	NT		
25. Juli	3. Inspektion		64	KÄ, SM		
30. Juli	3. Inspektion		69	BEC		
7. August	4. Inspektion		77	BEC, KÄ, SM		
14. August	2. Inspektion	90		alle		
23. August	5. Inspektion		93	KÄ		
29. August	5. Inspektion		99	BEC, SM		
18. September	6. Inspektion		119	BEC, KÄ, SM		
27. September	2. Inspektion		127	NT		
5. Oktober	3. Inspektion	142		alle		

2.5 Ergebnisse

2.5.1 Reinigungserfolg

Wie oben beschrieben, hängt der Reinigungserfolg von den Parametern Reinigungsgerät, Beschichtung und Standort ab. Die folgende Darstellung der Ergebnisse wurde nach den eingesetzten Geräten geordnet, berücksichtigt aber auch die Einflüsse durch die Beschichtungen und die Standorte. In der Diskussion werden dann die Unterschiede zwischen diesen Parametern einzeln beleuchtet. Es muss vorab betont werden, dass die Reinigung auf den Testplatten oftmals schwieriger war, als es an einem Schiffsrumpf wäre. Der Big Easy Cleaner ist beispielsweise auf die Neigung des Rumpfes angewiesen, die den Andruck wirksam werden lässt. Dieser Andruck musste auf den beweglichen Platten sozusagen per Hand hergestellt werden. Der Reinigungserfolg wird über die Bewuchsbedeckung vor und nach einem Reinigungsvorgang ausgedrückt. Die Bewuchsbedeckung wird in der ASTM-Methode 6990-03 als Fouling Rating (FR) ausgedrückt. Dabei wird eine bewuchsfreie Oberfläche mit dem Optimum FR 100 bewertet. Jedes Prozent Bewuchs auf der Oberfläche wird von diesem Wert abgezogen, z.B. eine Platte mit 5% Seepockenbewuchs und 8% Algen hat einen FR von 87. Für den Biofilm wird dabei stets nur der Wert 1 berechnet, egal wie groß die tatsächliche Biofilmbedeckung ist.

2.5.2 Beckmann RW Rotierende-Waschbürste (BB)

Die Beckmann Bürste (BB) wurde nur einmalig zum Testen der Funktionsweise und Performance in Norderney eingesetzt. Da die Wirksamkeit der weichen Borsten als zu gering eingestuft wurde, fand sie im weiteren Verlauf nur am Süßwasserstandort Norder Tief Anwendung (Abb. 23).

Bei dem geringen Bewuchsdruck in Norden konnte die Beckmann-Bürste den vorhandenen Bewuchs aus Biofilm und Insektenlarven von beiden Beschichtungen fast vollständig entfernen. Dies war nach 8 Wochen, aber auch noch nach 12 Wochen ununterbrochener Bewuchszeit möglich (Abb. 24 – 28).

Das Fouling Rating stieg somit nach jeder Reinigung wieder auf 99 oder 100 an. Vor jeder Reinigung wies das WEST-Epoxy geringeren Bewuchs auf als die Panadur Beschichtung (Abb. 24).



Abb. 23: Einsatz der Beckmann Bürste (BB) am Norder Tief.

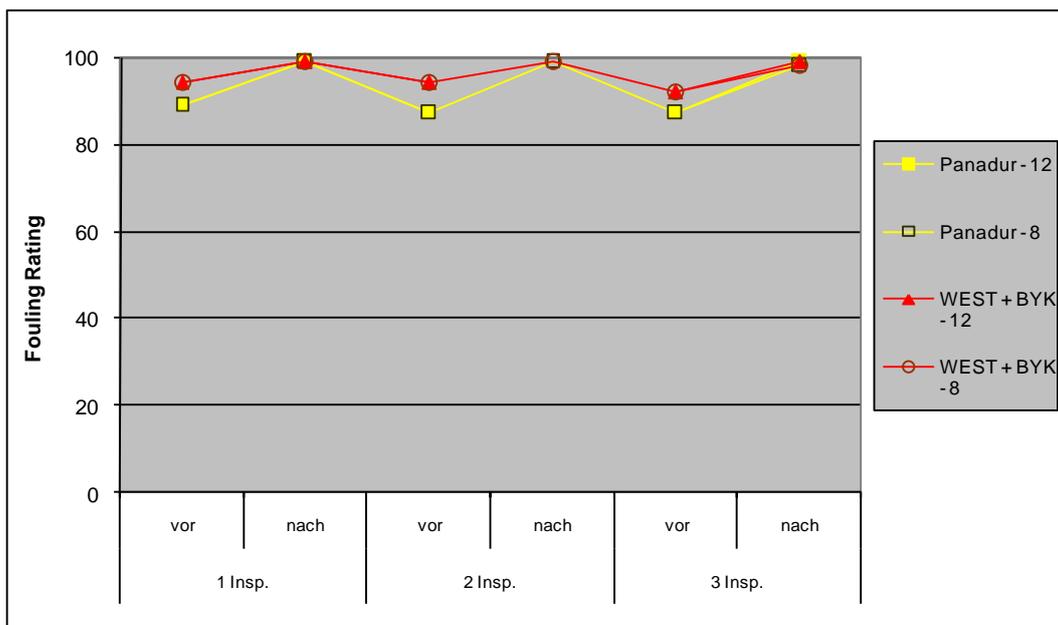


Abb. 24: Fouling Rating auf den 2 Testplatten im Norder Tief mit Panadur und WEST SYSTEM plus BYK Additive bei allen drei Inspektionen vor und nach der Reinigung mittels Beckmann Bürste (BB). Bei der 2. Inspektion wurde nur eine Plattenhälfte (-12) gereinigt und beprobt.



Abb. 25: Halbseitige Reinigung der Panadur-Platte mit der Beckmann Bürste (BB) am Norder Tief bei der ersten Reinigung am 21. Juni (links) und bei der zweiten Reinigung am 14. August.



Abb. 26: Halbseitige Reinigung der WEST-Platte mit der Beckmann Bürste (BB) am Norder Tief bei der ersten Reinigung am 21. Juni (Foto der zweiten Inspektion nach der Reinigung fehlt).



Abb. 27: Komplette Reinigung der Panadur-Platte mit der Beckmann Bürste (BB) am Norder Tief bei der dritten Reinigung am 5. Oktober. Links vor der Reinigung, rechts danach.



Abb. 28: Komplette Reinigung der WEST-Platte mit der Beckmann Bürste (BB) am Norder Tief bei der dritten Reinigung am 5. Oktober. Links vor, rechts nach der Reinigung.

2.5.3 Big Easy Cleaner (BEC)

In Norden konnten die Platten mit dem Big Easy Cleaner problemlos gereinigt werden (Abb. 29 – 31).



Abb. 29: Einsatz des Big Easy Cleaners (BEC) am Norder Tief.

Demzufolge stieg auch das Fouling Rating nach jeder Reinigung wieder auf nahezu 100 an (Abb. 30).

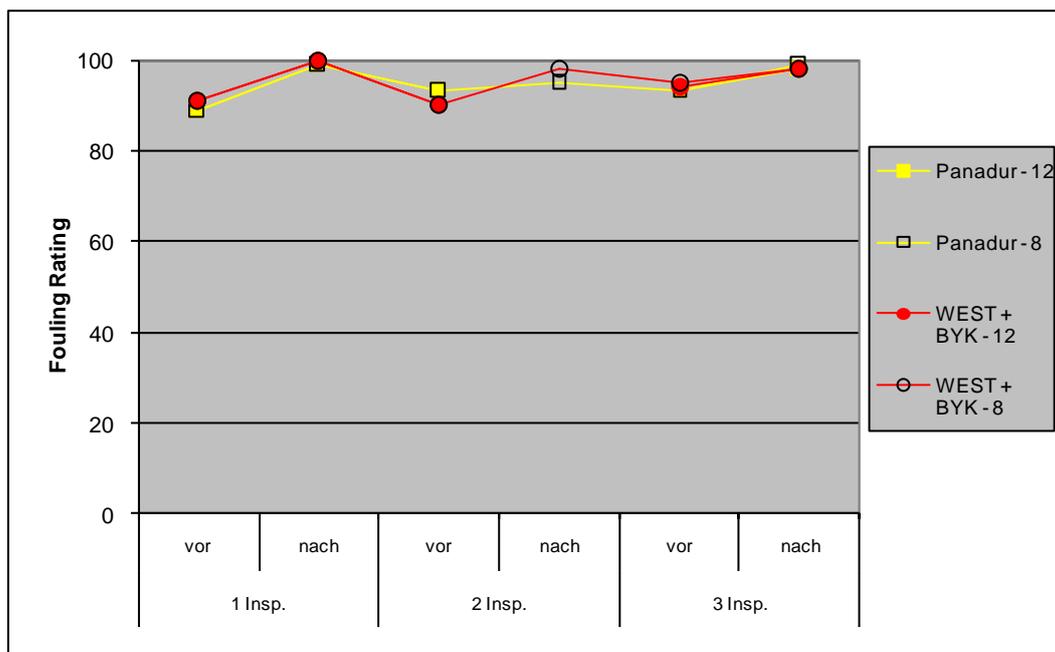


Abb. 30: Fouling Rating auf den 2 Testplatten im Norder Tief mit Panadur und WEST SYSTEM plus BYK Additive bei allen drei Inspektionen vor und nach der Reinigung mittels Big Easy Cleaner (BEC). Bei der 2. Inspektion wurde nur eine Plattenhälfte (-12) gereinigt und beprobt.



Abb. 31: Halbseitige Reinigung der Platten mit dem Big Easy Cleaner am Norder Tief bei der zweiten Reinigung am 14. August (links Panadur, rechts WEST).

Bei der zweiten Inspektion nach drei Monaten ließen sich bei Platten mit dem BEC ohne sichtbare Rückstände reinigen. Bei der letzten Inspektion nach weiteren 52 Tagen konnte der Bewuchs der Platte noch immer fast vollständig entfernt werden, es blieb aber eine Verfärbung zurück, die auf Mikroorganismen und somit auf einen Biofilm zurückzuführen sein muss (Abb. 32).



Abb. 32: Komplette mit dem Big Easy Cleaner gereinigte WEST-Platte am Norder Tief bei der dritten Reinigung am 5. Oktober.

Im Norderney Hafen wurde bei dem dort herrschenden deutlich höheren Bewuchsdruck häufiger gereinigt, damit der Bewuchs nicht eine so feste Haftung erzielen konnte. Es zeigte sich, dass nur bei der ersten Reinigung nach 16 Tagen der Bewuchs nahezu komplett ab gereinigt werden konnte. Ab der zweiten Reinigung blieben einzelne Bewuchsarten zurück und schufen so besondere Substrate, die in der Folgezeit schneller besiedelt wurden und nicht mehr ab gereinigt werden konnten (Abb. 33 und 34). Dabei war weniger überraschend, dass Seepocken nur bis zu einer Größe von ca. 3 mm im basalen Durchmesser entfernt werden können und danach nicht mehr ohne eine Beschädigung der Beschichtung zu entfernen sind. Überraschend war vielmehr, dass auch die Grünalgen der Gattung *Ulva* (syn. *Enteromorpha*) nicht komplett entfernt werden konnten, da ihre etwas gummiähnliche Konsistenz zwar bewirkte, dass ihre Thalli durch die Reinigung gekürzt, sie aber nur selten komplett entfernt werden konnten.

Das Fouling Rating stieg somit zwar nach jeder Reinigung wieder an, wies im Jahresverlauf aber einen abnehmenden Trend auf (Abb. 35).

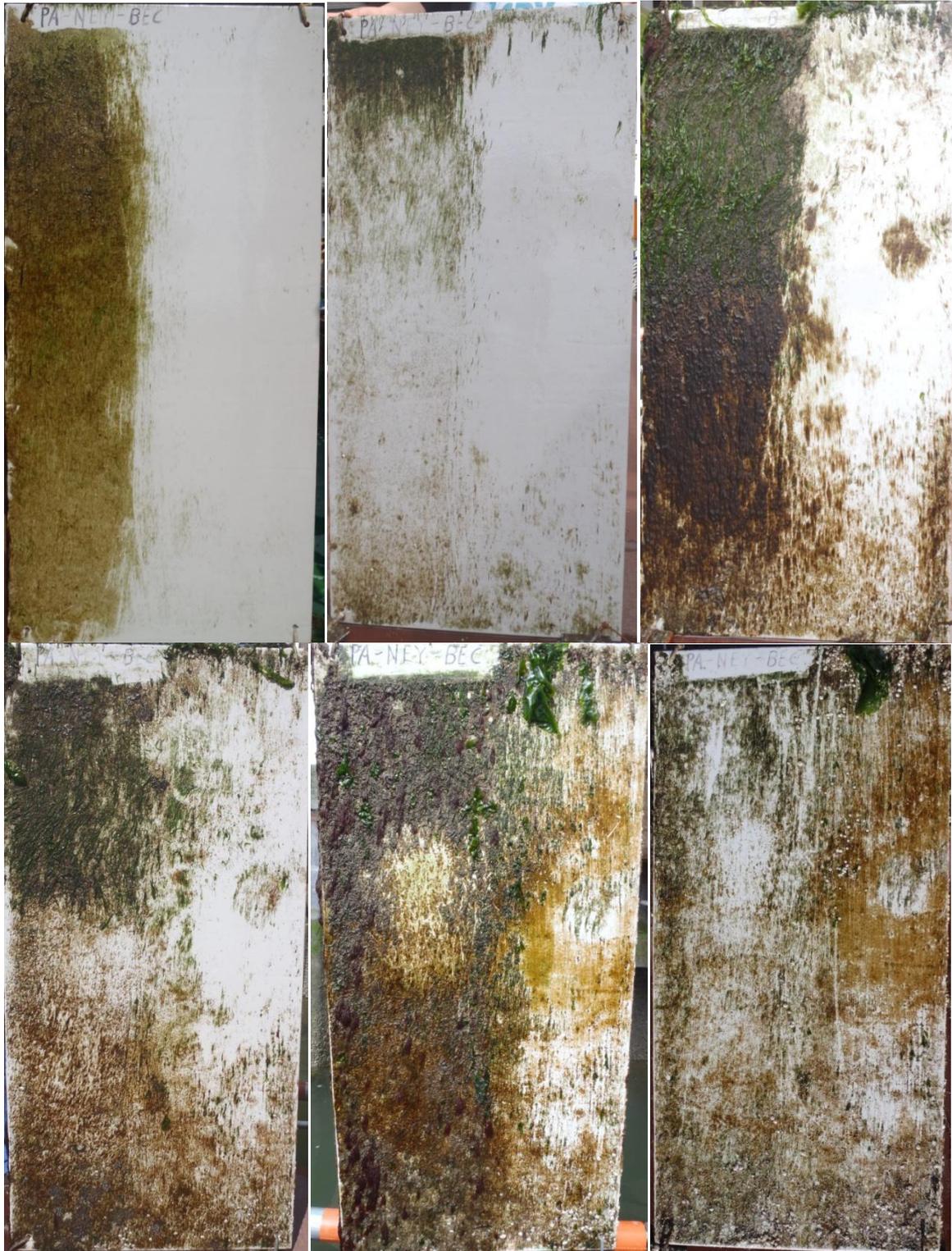


Abb. 33: Abwechselnd halbseitige und komplette Reinigung der Panadur-Platte mit dem Big Easy Cleaner im Norderneyer Hafen von der ersten Reinigung (links oben) bis zur letzten am 18. September (rechts unten).



Abb. 34: Abwechselnd halbseitige und komplette Reinigung der WEST-Platte mit dem Big Easy Cleaner im Norderneyer Hafen von der ersten Reinigung (links oben) bis zur letzten am 18. September (rechts unten).

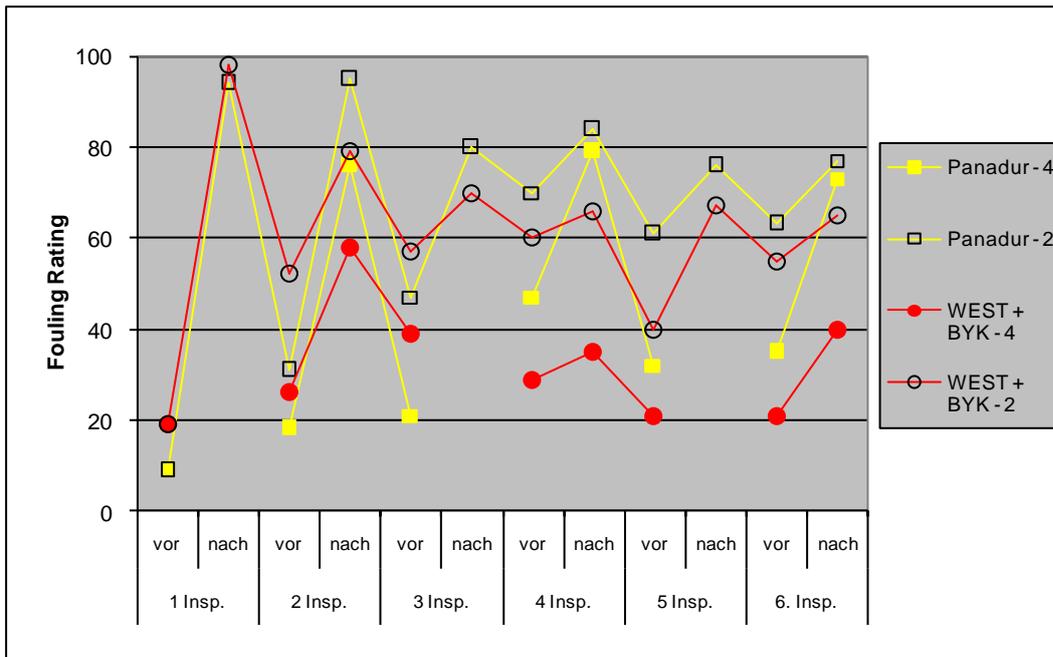


Abb. 35: Fouling Rating auf den 2 Testplatten im Norderneyer Hafen mit Panadur und WEST SYSTEM plus BYK Additive bei allen drei Inspektionen vor und nach der Reinigung mittels Big Easy Cleaner (BEC). Bei der 1., 3. und 5. Inspektion wurde nur eine Plattenhälfte (-4) gereinigt und beprobt.

2.5.4 Scrubmarine (SM)

Der Scrubmarine konnte den Süßwasser-Bewuchs ebenfalls nahezu vollständig verhindern, allerdings nur durch die Bürstenfunktion in Verbindung mit Muskelkraft. Die automatische Ansaugwirkung reichte bei weitem nicht aus, um den Bürstenkopf an die Platte zu saugen (Abb. 36 - 38).



Abb. 36: Einsatz des Scrubmarine (SM) am Norder Tief.

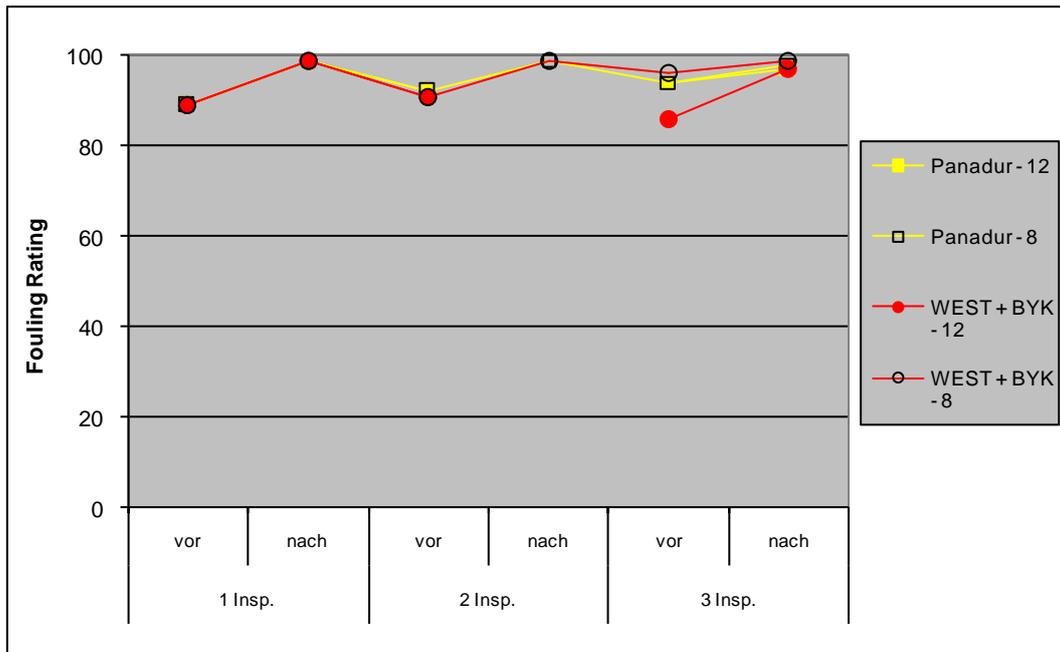


Abb. 37: Fouling Rating auf den 2 Testplatten im Norder Tief mit Panadur und WEST SYSTEM plus BYK Additive bei allen drei Inspektionen vor und nach der Reinigung mittels Scrubmarine (SM). Bei der 2. Inspektion wurde nur eine Plattenhälfte (-12) gereinigt und beprobt.



Abb. 38: Halbseitige Reinigung der Platten mit dem Scrubmarine am Norder Tief bei der ersten Reinigung am 21.Juni (links Panadur, rechts WEST).

Wie bei allen Geräten war die Reinigungswirkung im Meerwasser nicht ausreichend. Wie beim BEC waren es auch beim Scrubmarine die Grünalgen und die Seepocken ab ca. 3 mm, die nicht entfernt werden konnten. Im späteren Saisonverlauf kam auch noch die Pazifische Auster *Crassostrea gigas* hinzu, die nach ihrer Ansiedlung im Spätsommer schnell wuchs und rasch eine feste Haftung erzielte. Zwischen den beiden Beschichtungen gab es keine augenscheinlichen Unterschiede (Abb. 39 – 41).

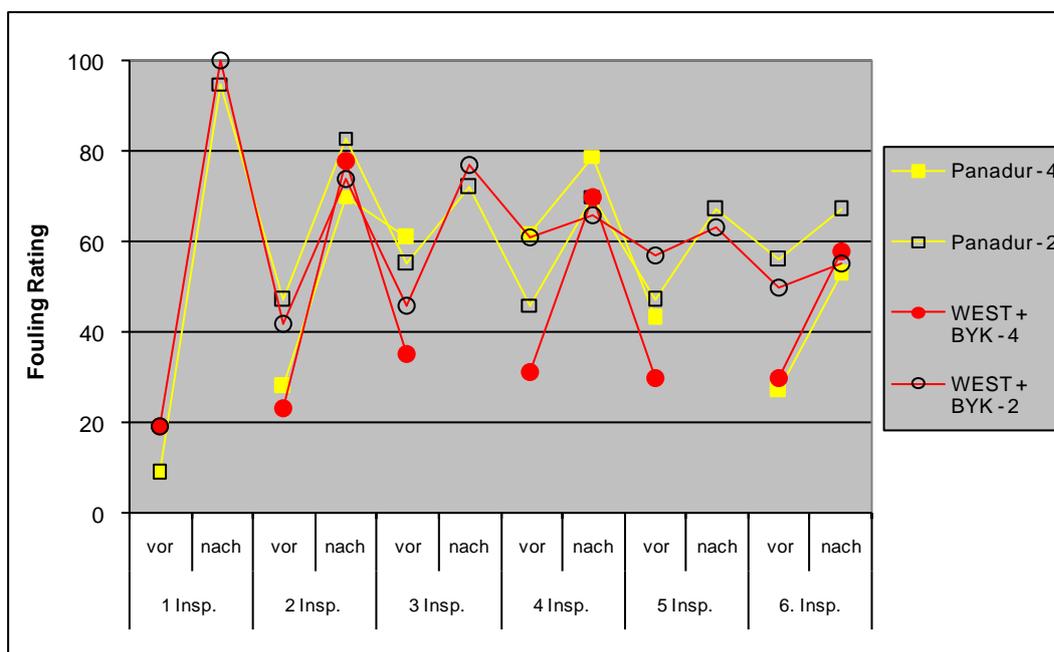


Abb. 39: Fouling Rating auf den 2 Testplatten im Norderneyer Hafen mit Panadur und WEST SYSTEM plus BYK Additive bei allen drei Inspektionen vor und nach der Reinigung mittels Scrubmarine (SM). Bei der 1., 3. und 5. Inspektion wurde nur eine Plattenhälfte (-4) gereinigt und beprobt.



Abb. 40: Abwechselnd halbseitige und komplette Reinigung der Panadur-Platte mit dem Scrubmarine im Norderneyer Hafen von der ersten Reinigung (links oben) bis zur letzten am 18. September (rechts unten).

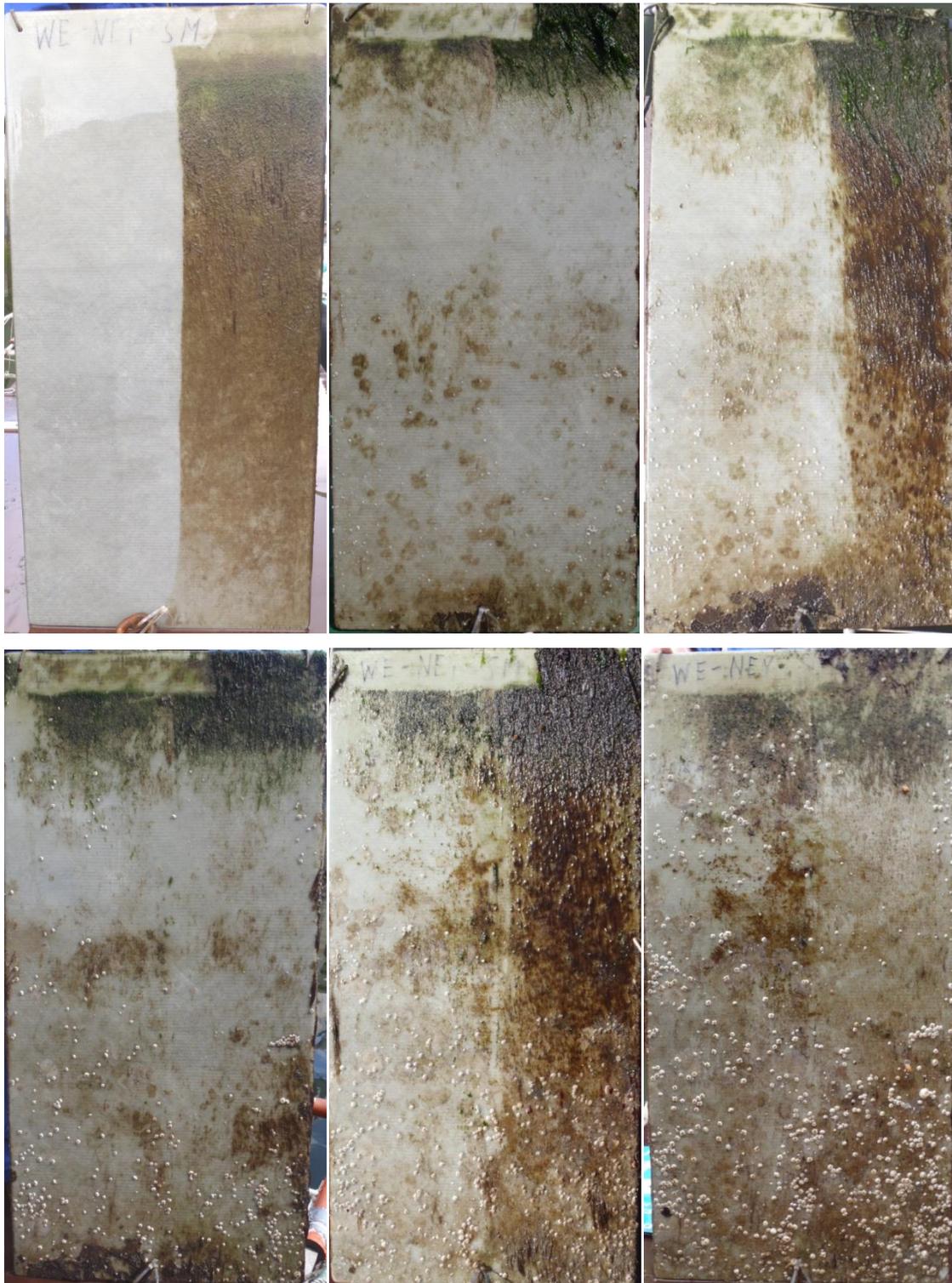


Abb. 41: Abwechselnd halbseitige und komplette Reinigung der WEST-Platte mit dem Scrubmarine im Norderneyer Hafen von der ersten Reinigung (links oben) bis zur letzten am 18. September (rechts unten).

2.5.5 Kärcher Hochdruckreiniger (KÄ)

Aufgrund des geringen Bewuchses in Norden und auch wegen der hohen Lärm-
belästigung durch den Kärcher Hochdruckreiniger wurden hiermit nur zwei
Reinigungen durchgeführt, und zwar am ersten Termin im Juni und zum Abschluss
im Oktober. Wie schon die anderen Geräte, hatte auch der Kärcher
Hochdruckreiniger mit Dreckfräse den Bewuchs bei der ersten Inspektion bis auf den
Biofilm entfernen können. Bei der zweiten Inspektion erfolgte keine Reinigung und
bei der dritten Inspektion konnte bei der anschließenden Reinigung der
Makrobewuchs nicht vollständig entfernt werden. (Abb. 42 – 44).

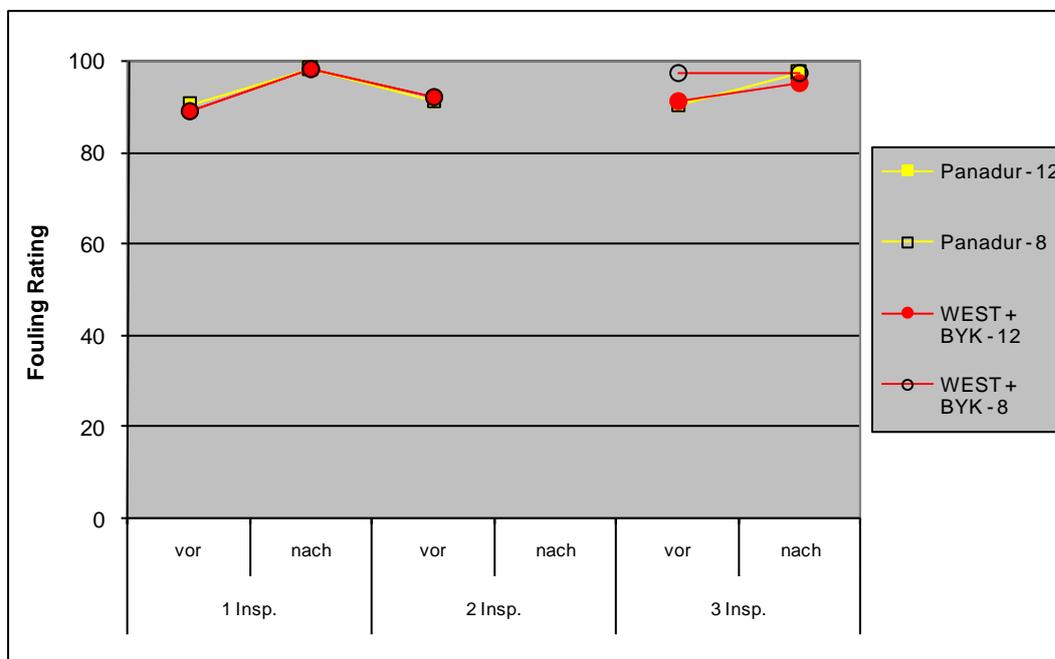


Abb. 42: Fouling Rating auf den 2 Testplatten im Norder Tief mit Panadur und WEST SYSTEM plus BYK Additive bei allen drei Inspektionen vor und nach der Reinigung mittels Kärcher Hochdruckreiniger (KÄ). Bei der 2. Inspektion wurde die Platte nur beprobt, aber nicht gereinigt.



1. Reinigung

2. Inspektion

3. Inspektion ohne und mit Reinigung

Abb. 43: Panadur-Testplatte aus dem Norder Tief bei der ersten Inspektion mit halbseitiger Reinigung, bei der zweiten Inspektion ohne Reinigung und bei der dritten Inspektion vor und nach kompletter Reinigung.



1. Reinigung

2. Inspektion

3. Inspektion ohne und mit Reinigung

Abb. 44: WEST-Testplatte aus dem Norder Tief bei der ersten Inspektion mit halbseitiger Reinigung, bei der zweiten Inspektion ohne Reinigung und bei der dritten Inspektion vor und nach kompletter Reinigung.

Auf Norderney stellte sich die Situation erneut ganz anders dar. Nur bei der ersten Inspektion konnte der Bewuchs ab gereinigt werden, obwohl dieser Termin erst 28 Tage nach der Auslagerung stattfand, weil die Lieferung der Gerätekomponenten sich verzögert hatte. Schon 20 Tage später, bei der zweiten Reinigung konnte der Makrobewuchs nicht mehr vollständig entfernt werden. Vereinzelt Seepocken und Manteltiere (je 1%), aber vor allem die Algen (5% Grünalgen, 3% Braunalgen) ließen sich nicht entfernen (Abb. 45 – 47).

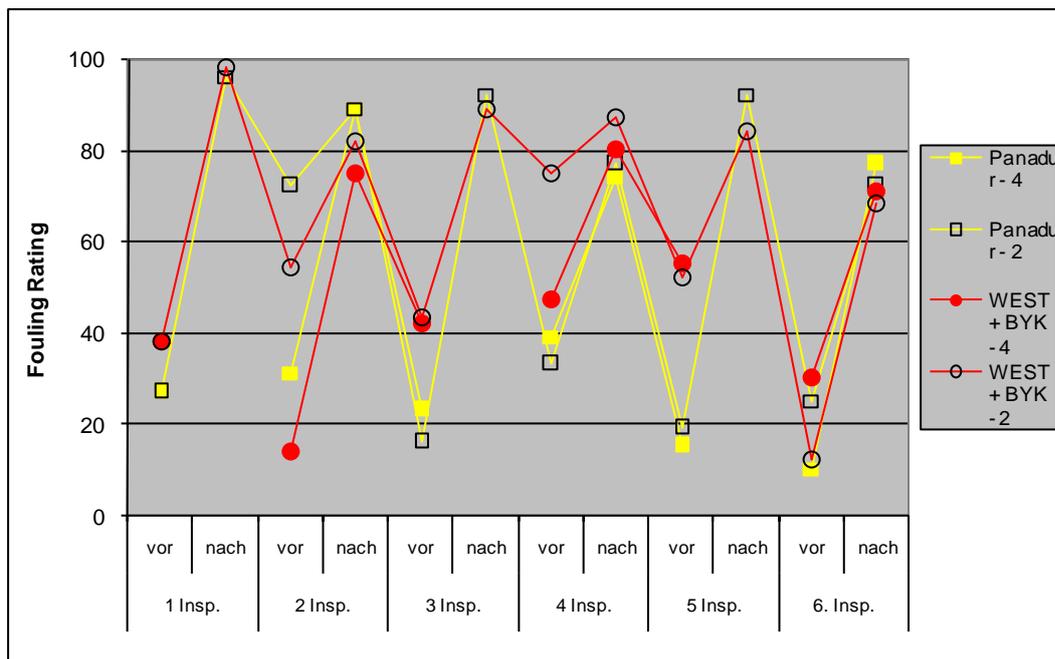


Abb. 45: Fouling Rating auf den 2 Testplatten im Norderneyer Hafen mit Panadur und WEST SYSTEM plus BYK Additive bei allen drei Inspektionen vor und nach der Reinigung mittels Kärcher Hochdruckreiniger (KÄ). Bei der 1., 3. und 5. Inspektion wurde nur eine Plattenhälfte (-4) gereinigt und beprobt.



Abb. 46: Abwechselnd halbseitige und komplette Reinigung der Panadur-Platte mit dem Kärcher Hochdruckreiniger im Norderneyer Hafen von der ersten Reinigung (links oben) bis zur letzten am 18. September (rechts unten). Besonders bei der zweiten Inspektion (oben Mitte) ist zu erkennen, dass mit der Düse auf der Oberfläche gekratzt wurde.

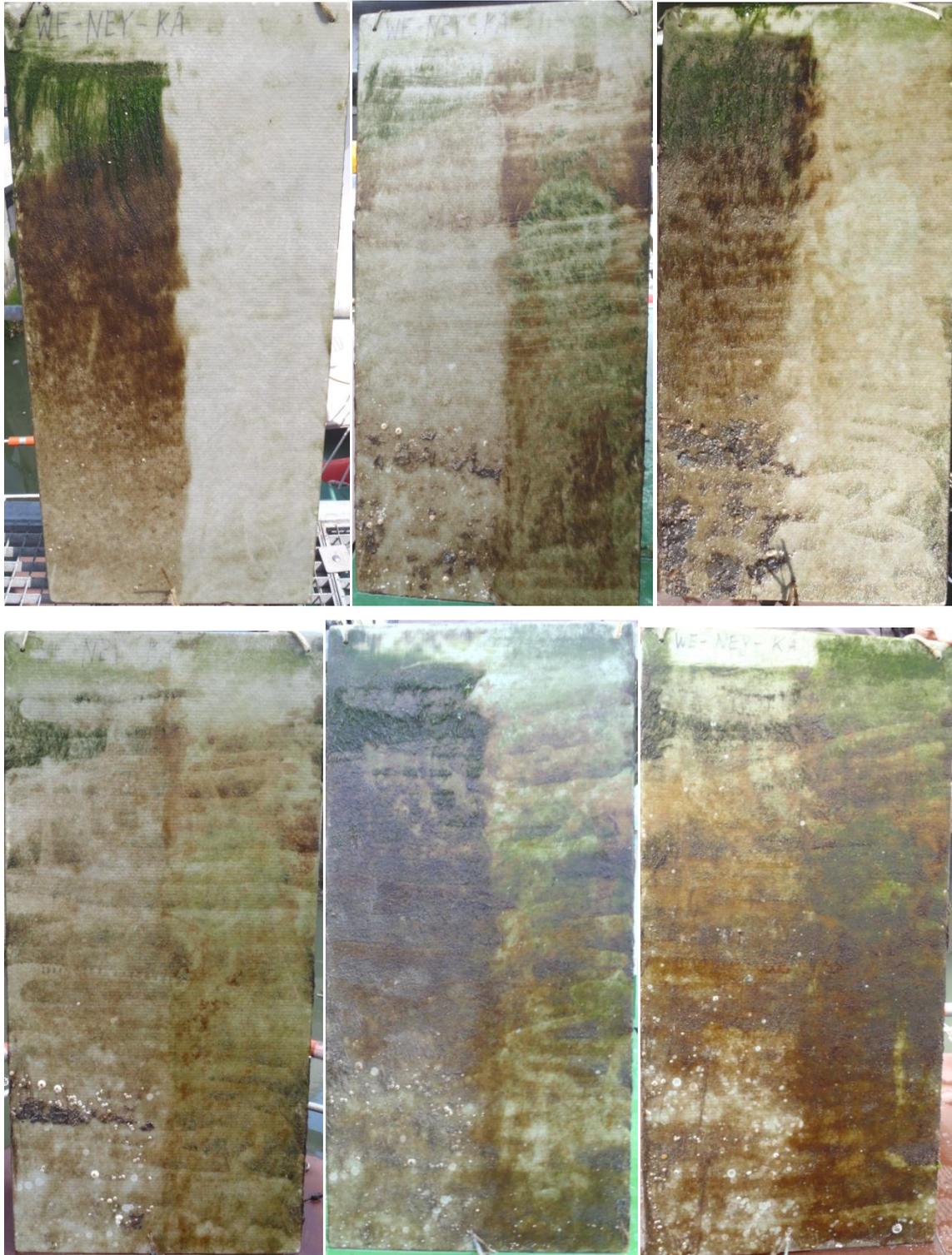


Abb. 47: Abwechselnd halbseitige und komplette Reinigung der WEST-Platte mit dem Kärcher Hochdruckreiniger im Norderneyer Hafen von der ersten Reinigung (links oben) bis zur letzten am 18. September (rechts unten).

2.5.6 Caviblaster (NT), Nordseetaucher

Wie bereits dargelegt wurden nur die Platten im bewuchsstarken Norderneyer Seewasser beprobt und das auch nur an zwei Inspektionsterminen.

Die erste Inspektion der Nordseetaucher fand am 20. Juli statt, die zweite am 27. September 2012.

Platte Panadur PA

Es handelt sich um eine GFK-Platte, die einen Anstrich der projektbeteiligten Firma Panadur GmbH aufwies. Der Hersteller bezeichnet die Beschichtung als mikrobiell durch einen Anteil an Polyharnstoffen. Er ist aber frei von Kupfer und anderen klassischen Antifoulingbioziden und auch frei von Silber oder anderen Nanobestandteilen. Die Wirkung als Antifoulinganstrich im Seewasser der Nordsee hat sich im Vorjahr als deutlich zu gering erwiesen, was auch in dieser Untersuchung vor der Abreinigung wieder zu sehen war. Dieser Anstrich dient in erster Linie als Wassersperre und kann als "reinigungsfähig" bezeichnet werden, da er keinen selbstpolierenden Mechanismus aufweist und eine ausreichend harte Oberfläche bietet. Am 20.7. wurde die Platte erstmals mit dem Caviblaster gereinigt, acht Wochen nachdem sie im Hafen von Norderney statisch exponiert worden war. Vor der Reinigung war die Plattenoberfläche zu 60% von makroskopischen Bewuchsorganismen bewachsen. Den Großteil bedeckten dabei der Tunikat *Botryllus schlosseri* (dt.: Sternascidie). Grünalgen bedeckten den oberen lichtdurchfluteten Bereich und Seepocken wurden vornehmlich in der unteren Plattenhälfte angetroffen. Zudem wies die Platte eine starke Bedeckung mit Schwebstoffen (=Silt) auf.

Die Reinigung der Platten erfolgte durch einen Taucher der Nordseetaucher GmbH am Prüfstand von LimnoMar im Norderneyer Hafen, wobei jeweils nur eine Plattenseite gereinigt wurde. Die Reinigung der Panadur Platte dauerte etwa 15 Minuten. Anschließend war der Großteil des Makrobewuchses ab gereinigt (Abb. 48 und 49). Lediglich sehr vereinzelt waren Seepocken (1%) verschont geblieben, aber bei Grünalgen der Gattung *Ulva* (syn. *Enteromorpha*) wurde deutlich, dass diese durch den Caviblaster zwar durchtrennt werden, vielfach aber der untere Thallusbereich und die Haftscheibe nicht entfernt worden waren (Abb. 50). 4 von 15% wurden auch nach der Reinigung noch angetroffen. Auffällig war auch die unverändert hohe Bedeckung mit Biofilm aus überwiegend Kieselalgen.

Dieser ist durch den Caviblaster offensichtlich nur schwierig zu entfernen. Die Platte wies nach der Reinigung keinerlei sichtbare Beschädigungen auf.



Abb. 48: Panadur Testplatte bei der ersten Inspektion vor und nach der Reinigung mittels Caviblaster.



Abb. 49: Panadur Testplatte bei der zweiten Inspektion vor und nach der Reinigung mittels Caviblaster.



Abb. 50: Grünalgenreste auf der Panadur Testplatte nach der zweiten Reinigung mittels Caviblastler.

Platte WEST SYSTEM Epoxy plus BYK Additiv

Die 2. GFK Platte war durch die Firma von der Linden in Wesel mit einem Epoxy der Firma WEST beschichtet worden, dass zuvor mit Additiven der Firma BYK versehen worden war, die die Haftung des Bewuchses verringern sollen.

Vor der Reinigung war die Platte ähnlich stark bewachsen wie die Panadur-Platte. Als zusätzliche Bewuchsgruppen wurden hier allerdings Hydrozoen (= Polypentierchen) und Bryozoen (= Moostierchen) registriert. Letztere bevorzugten niedrigere Oberflächen-spannungen, was auf einen leichten Antihafteffekt der Beschichtung hindeuten kann.

Die Reinigung durch den Nordseetaucher ging sehr viel schneller (5 Min.) und war laut Aussage des Tauchers leichter. Möglicherweise bedingt durch die kürzere Reinigungszeit blieben von den Hydrozoen und den Bryozoen einige Rückstände übrig. Größere Seepocken im unteren Bereich der Platte wurden zerstört aber nicht vollständig entfernt. Die kalkhaltigen Basalplatten der Gekerbten Seepocke *Balanus crenatus* hafteten offensichtlich doch sehr fest auf der Beschichtung. Auch diese Platte wies nach der Reinigung keinerlei Beschädigungen auf (Abb. 51 und 52).



Abb. 51: Testplatte mit WEST SYSTEM bei der ersten Inspektion vor und nach der Reinigung mittels Caviblastern.



Abb. 52: Testplatte mit WEST SYSTEM bei der zweiten Inspektion vor und nach der Reinigung mittels Caviblastern.

Insgesamt ist die Reinigungsleistung des Caviblasters als positiv zu bewerten. Im Gegensatz zu anderen Reinigungsmethoden kann der Caviblaster auch stärkeren Bewuchs inkl. Seepocken nach längeren Reinigungsintervallen noch ab reinigen. Nachteilig sind der hohe Aufwand an Personen und Material sowie die Lautstärke der Methode. In einem Sportboothafen wäre dies sicherlich nicht jederzeit möglich. Weiterhin ist es fraglich, ob nicht ein Taucher mit Schutzhandschuhen und Spachtel anstatt Caviblaster bei Sportbooten schneller fertig wäre.

2.5.7 Abriebtests

Die Schichtdickenmessungen zur Erfassung des Abriebs auf den Testbeschichtungen durch die Reinigungsprozesse sollten ursprünglich auf den Untergrundmaterialien GFK, Holz und Stahl stattfinden. Nach eingehender Beratung mit der Firma von der Linden, die große Erfahrungen in diesem Bereich haben, wurde auf die Untersuchungen auf Holz und GFK bis auf weiteres verzichtet, da die Messmethoden eine hohe Unsicherheit aufweisen und die hier zu erwartenden eher geringen Schichtdickenverluste durch Messungenauigkeiten überlagert würden. Somit wurde nur die klassische Schichtdickenmessung mittels Ultraschall (Elcometer) auf den Stahlplatten durchgeführt. Eine erste Messung erfolgte vor der Reinigung in einem markierten Bereich in der Mitte der Platte. Eine zweite Messung erfolgte dann nach 5 Min. Dauerreinigung auf dieser markierten Stelle. Die folgenden Tabellen 3 und 4 zeigen die Mittelwerte aus 20 bzw. 25 Messungen vor und nach der Reinigung sowie die Differenz beider Werte auf beiden Beschichtungen. Es fällt zunächst auf, dass die Panadur-Beschichtung eine sehr viel höhere Schichtdicke aufweist als das WEST-SYSTEM, und dass beide Beschichtungen eine hohe Rauigkeit aufweisen, die sich in der Standardabweichung widerspiegelt. Dennoch lassen die Werte, die sich aus 15 oder 20 Einzelmessungen zusammensetzen, folgende inhaltliche Auswertungen zu:

- Alle Reinigungssysteme riefen einen Abrieb hervor, der in einer Abnahme der Schichtdicke messbar war.
- Auf beiden Beschichtungen verursachte der Big Easy Cleaner den höchsten und der Caviblaster den geringsten Abrieb.

Tab. 3: Ergebnis der Schichtdickenmessungen [μm] auf Stahlplatten mit Panadur vor und nach fünf Min. Dauerreinigung.

Reinigungsgerät	vor Reinigung	nach Reinigung	Abtrag [μm]
Beckmann Bürste	853,0	835,1	17,9
Big Easy Cleaner	555,9	497,4	58,5
Scrubmarine	546,9	527,4	19,5
Caviblaster	917,9	912,6	5,3

Tab.4: Ergebnis der Schichtdickenmessungen [μm] auf Stahlplatten mit WEST SYSTEM Epoxid plus BYK Additiv vor und nach fünf Min. Dauerreinigung.

Reinigungsgerät	vor Reinigung	nach Reinigung	Abtrag [μm]
Beckmann Bürste	245,8	242,5	3,3
Big Easy Cleaner	276,7	258,4	18,3
Scrubmarine	246,4	229,2	17,2
Caviblaster	303,9	301,6	2,3

Der geringe Abrieb des Caviblasters entspricht den Angaben des Anwenders Nordseetaucher GmbH als berührungslose Reinigungstechnologie. Als zusätzliche Untersuchung haben die Nordseetaucher im Auftrag von LimnoMar mit dem Caviblaster auch eine Testplatte mit der Zinkantifouling Lotrec LeFant AllCoast abgereinigt, um zu klären, wie sich eine Reinigung mit dem Caviblaster auf solch eine selbstpolierende Antifoulingbeschichtung auswirkt (Abb. 53).

Erwartungsgemäß ließ sich der Bewuchs hier sehr leicht ab reinigen. Es wurde dabei aber auch die erste und stellenweise die 2. Schicht der Antifouling mit abgelöst. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass der Caviblaster zwar unbedenklich für darauf ausgerichtete reinigungsfähige Hartbeschichtungen, nicht aber für leicht polierende Beschichtungen wie SPCs (Self-Polishing Coatings) ist.



Abb. 53: PVC-Testplatte mit einer 4-lagigen Beschichtung der leicht polierenden Zinkantifouling Lotréc LeFant: Links vor und rechts nach der Behandlung mit dem Caviblaster. Es ist deutlich zu erkennen, dass dabei neben dem Bewuchs auch der Großteil der obersten Farbschicht abgelöst wurde.

2.5.8 Effektivität des Auffangsystems

In der ersten Projektphase wurde bei 3 der 5 Reinigungssysteme ein Auffangsystem getestet. Im Falle des Kärcher Hochdruckreinigers und des Caviblasters erfolgte es in dieser Phase nicht, da die Testplatten nicht die Bedingungen bieten wie ein Schiffsrumpf. Deshalb sollte zunächst die Effektivität abgewartet werden, um dann gegebenenfalls für die zweite Projektphase an Schiffen ein Auffangsystem zu entwickeln.

An Schiffsrümpfen könnten für das Auffangen des Bewuchses verschiedene Varianten erprobt werden:

- Aufschwimmende Bestandteile sollen über eine Art Ölsperre (Schwimmender Ringe oder Luftblasen) an der Wasser-Oberfläche konzentriert und mittels einer Saugpumpe mit Filter abgesaugt werden.
- Absinkender Bewuchs soll über einen am Grund gehaltenen flachen Trichter aufgefangen und mittels einer Saugpumpe, die an der Mündung des Trichters angeflanscht werden kann, entfernt und gefiltert werden.
- Um die Kavitationsdüse wird ein formstabiler Auffangkorb mit integrierter Absaugvorrichtung montiert, welcher aus elastischem Plastik gefertigt wird, um ein Anpassen an die jeweilige Rumpfform zu ermöglichen. Für speziell gekrümmte Bereiche wie den Rumpf und das Heck werden speziell geformte Auffangkörbe gefertigt und ihre Tauglichkeit untersucht.
- Als Saugpumpen sollen Strahlpumpen, die nach dem Injektorprinzip arbeiten eingesetzt werden, um eine robuste Ausführung zu gewährleisten.

Von den drei getesteten Auffangsystemen erwies sich aber keines als ausgereift. Der Auffangkescher der Beckmann Bürste hatte seinen Schwachpunkt darin, dass er sich am Schiffsrumpf nur im (Flach-)Bodenbereich bis maximal zur Kimm unterhalb der Bürste befand. In den vertikalen Zonen, des Schiffsrumpfes würde wie bei den Plattentests der Kescher kaum Bewuchs auffangen (Abb. 54). Eine Verbesserung wäre durch den Einbau eines Gelenks zwar möglich, aber die Anpassung des Korbs wäre während eines Reinigungsvorgangs aufwendig und zeitraubend. Außerdem würde auch dann nur ein Teil des Bewuchses aufgefangen werden können.

Ähnlich ist die Problematik beim Big Easy Cleaner (BEC). Hier hat der Konstrukteur zwar dafür gesorgt, dass sich der Auffangkorb stets unterhalb des Reinigungsgeräts befindet, aber der Korb ist zu klein, um den Großteil des Bewuchses auffangen zu können. Immerhin konnte bei Probedurchgängen an Schiffsrümpfen ein Teil des Bewuchses aufgefangen werden (Abb. 55).



Abb. 54: Auffangkescher der Beckmann Bürste.



Abb. 55: Auffangkorb des Big Easy Cleaners.

Beim Scrubmarine konnte optional ein Grob- oder ein Feinfilter wahlweise vor oder hinter dem Motor eingebaut werden. Da das Gerät mit eingebautem Filter nicht funktionierte, und der Filter ohnehin nicht den Bewuchs der Platten geschweige denn eines Schiffes aufnehmen könnte, wurde das abfließende Wasser in einem Sieb mit 500 µm Maschenweite aufgefangen (Abb. 56). Dabei stellte sich heraus, dass mit dem Ansaugschlauch in der Mitte der Bürste (s. Abb. 9 unten) nur sehr wenig abgelöster Bewuchs aufgefangen wurde.

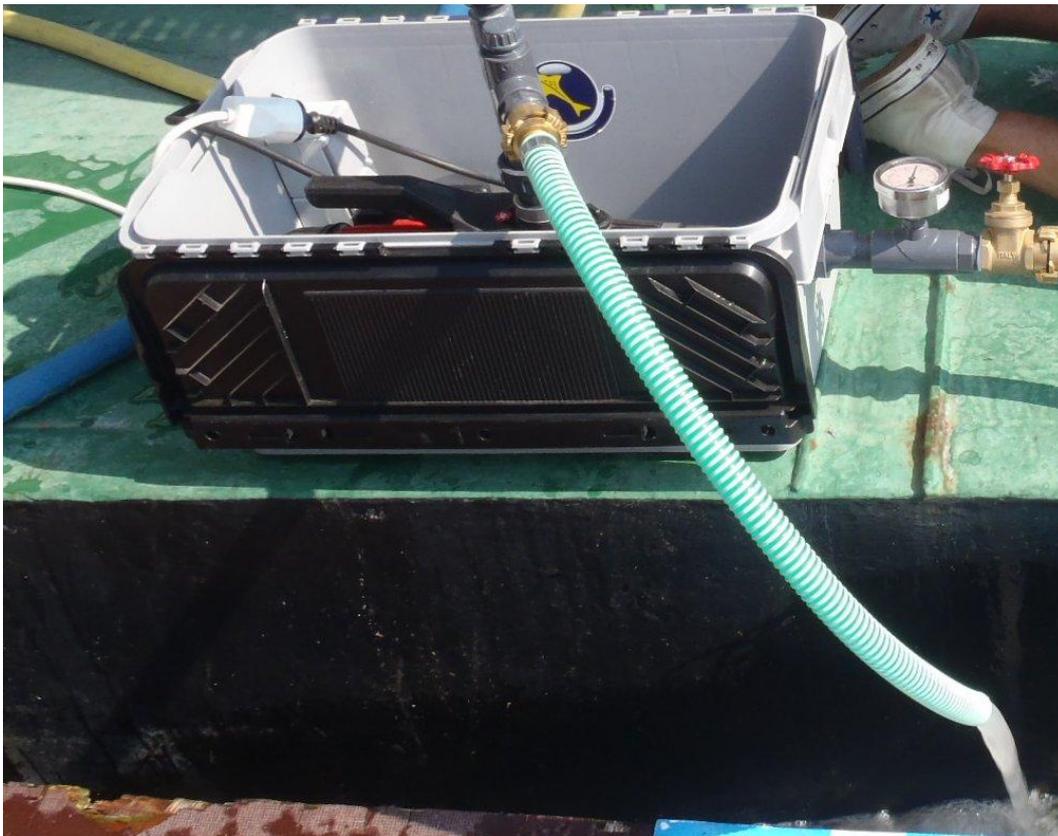


Abb. 56: Das abfließende Wasser des Srubmarine kann durch einen Filter oder Sieb laufen. Mit dem nachgelieferten Filter funktionierte der Motor nicht, deshalb wurde das ablaufende Wasser durch ein Sieb geleitet.

3 Boots- und Schiffsversuche 2013

Aus den oben genannten Gründen wurde sich in der Projektphase 2013 verstärkt auf Süßwasserreviere konzentriert. An den Standorten Bodensee, Berlin, Hamburg, Hannover und Wesel sollten in erster Linie die Beckmann Bürste, der Big Easy Cleaner (BEC) und ein neu entwickeltes Reinigungstool zum Einsatz kommen. Am marinen Standort Norderney sollten die Nordseetaucher zum Einsatz kommen, um das Caviblaste-System einzusetzen. Der Scrubmarine und der Kärcher Hochdruckreiniger sollten aus den obengenannten Gründen in 2013 nicht weiter eingesetzt werden.

Bei Weiterführung des Projekts in 2013 wurde berücksichtigt, dass der Reinigungserfolg auf den Testplatten im Süßwasser definitiv größer und die Reinigung einfacher war als im Salzwasser. Daher wurde die Gewichtung der zu reinigenden Boote vermehrt auf Reviere im Süßwasser gelegt. Es wurden für die Versuche drei im Salzwasser operierende Schiffe und sechs im Süßwasser operierende Schiffe ausgewählt.

Salzwasser:

Im Norderneyer Hafen konnten an drei küstenoperierenden Schiffen Reinigungstests durchgeführt werden (Frisia VIII, Beluga II, Windsbraut).

Brackwasser:

In diesem Gewässerbereich wurde das Patrouillenboot „W16“ der Wasserschutzpolizei Niedersachsen dankenswerter Weise für die Versuche zur Verfügung gestellt, welches ursprünglich in Emden stationiert war, aber in der Mitte des Jahres nach Hannover verlegt wurde.

Süßwasser:

Im Süßwasser fanden sich insgesamt sechs Bootseigner, die ihre Schiffe zu Reinigungstest zur Verfügung stellten (s. Tab. 5).

3.1 Testboote/-schiffe und Testbeschichtungen

In der Tabelle 5 sind alle Boote und Schiffe, die für die Versuche in 2013 zur Verfügung standen, aufgelistet.

Tab. 5: Testschiffe 2013

Name	Typ	Beschichtung/ Rumpf	Revier	Länge x Breite [m]	Tiefgang [m]
Frisia VIII	Frachtschiff	Jotun Sealion Resilient	Nordfriesisches Wattenmeer / Norderney	58,5 x 11	1,60
Beluga II	Motorsegler	Sigmashield / Stahl	Flüsse/Ästuar/ Wattenmeer	28 x 5,60	1,60
Windsbraut	Segelboot	Keine / Stahl	Nordfriesisches Wattenmeer / Norderney	9,50 x 3	0,50
King Louis	Whaly PE- Motorboot	keine /PE	Alster Hamburg	4,35 x 1,73	0,20
Manni	Motorboot PP- Schlauchboot	keine /PP	Alster Hamburg	5,40 x2,40	0,30
Makowski	Skippi Segelboot	VC 17 M ohne Kupfer	Alster Hamburg	6,50 x 2,48	0,20
Sawatzki	Skippi	VC 17M mit Kupfer	Alster Hamburg	6,50 x 2,48	0,20
MB FN 1008	Motorboot	Alt-AF / Aluminium	Bodensee	2,50 x 1,20	0,20
Olli	Motorboot	keine / GFK	Sacrowsee Potsdam	2,20 x 1,20	0,20
W16	Patrouillenboot Motorboot	Wohlert – Reinigungs- fähige Hartantifouling	Emsmündung/ Mittellandkanal Hannover	9,95 x 2,80	0,90

3.1.1 „Frisia VIII“

Kategorie: Motorschiff

Typ: Frachtschiff

Bootsdaten:

Länge: 58,5 m

Breite: 11 m

Tiefgang: 1,60 m

Material: Stahl

Beschichtung: Jotun Sealion Resilient, Testfläche Heck und Propellertunnel

Liegeplatz: Norderney



Abb. 57: Frachtschiff Frisia VIII.

Hintergrundinformationen:

Die Frisia VIII ist ein Frachtschiff der Reederei Norden-Frisia, das täglich für die Versorgung von Norddeich zu den Inseln Norderney und Juist eingesetzt wird (Abb. 57). Das Frachtschiff kann mit einer maximalen Geschwindigkeit von 8,5 kn fahren.

3.1.2 Motorsegler „Beluga II“

Kategorie: Motorsegler

Typ: Klipper

Modell: Motorsegler

Bootsdaten:

Länge: 34 m

Breite: 5,6 m

Tiefgang: 1,60 m

Material: Stahl

Beschichtung: keine

Liegeplatz: Heimathafen Hamburg



Abb. 58: Motorsegler Beluga II.

Hintergrundinformationen:

Bei der Beluga II handelt es sich um ein Schiff von Greenpeace. Die Beluga II ist seit 2004 in europäischen Flüssen unterwegs (Abb. 58). Das Schiff besitzt neben der Besegelung eine 173kW starke Maschine und erreicht eine maximale Geschwindigkeit von 8,5 kn.

Im Folgenden ein zusammenfassender Überblick über das Fahrtprofil der Beluga II, 2013:

18. Juli: Nord-Ostsee-Kanal in die Nordsee

02. August: Norderney

03. August: Emden

06. August: Ijsselmeer → Rhein

16. August: Main-Donaukanal

29. September: Rhein

08. Oktober: WDK → Kanäle

13. Oktober: Elbe

29. Oktober: Kanäle

31. Oktober: UHW mit Spree

09. Dezember: Elbe

3.1.3 Segelboot „Windsbraut“

Kategorie: Segelboot

Typ: Eigenbau

Modell: Eigenbau

Bootsdaten:

Länge: 9,50 m

Breite: 3,00 m

Tiefgang: 0,50 m

Material: Stahl

Beschichtung: Epoxy

Liegeplatz: Yachthafen Norderney



Abb. 59: Windsbraut in ihrem Heimathafen Norderney.

Hintergrundinformationen:

Die Windsbraut wurde von ihrem Eigner Bernhard Rass im Eigenbau gefertigt. Das Schiff wurde die Saison 2013 nicht gesegelt und lag nur an seinem Liegeplatz im Norderneyer Hafen (Abb. 59). Da das Boot keine Antifoulingbeschichtung hatte, war es stark bewachsen, was eine Herausforderung für die Reinigungsgeräte darstellte.

3.1.4 PE-Motorboot: "King Louis"

Kategorie: Motorboot

Typ: PE-Motorboot

Modell: „Whaly 435“

Bootsdaten:

Länge: 4,35 m

Breite: 1,73 m

Tiefgang: 0,20 m

Material: PE

Beschichtung: keine

Motor: 30 PS Langschaft, maximale Geschwindigkeit 8 Kn

Liegeplatz: Segelschule Prüsse, Gurlitt-Insel Alster Hamburg



Abb. 60: Whaly PE-Motorboot King Louis.

Hintergrundinformationen:

Das Whaly PE-Motorboot gehört zur Segelschule Käpt'n Prüsse und ist täglich als Begleitfahrzeug zu Ausbildungszwecken in Betrieb (Abb. 60). Das Motorboot fährt überwiegend mit Geschwindigkeiten von 1 - 4 kn.

3.1.5 DLRG-Schlauchboot „Manni“

Kategorie: Motorboot

Typ: PP-Motorboot

Modell: „Fun Yak 540 “

Bootsdaten:

Länge: 5,40 m

Breite: 2,40 m

Tiefgang: 0,30 m

Material: PP

Beschichtung: keine

Motor: 50 PS Langschaft, maximale Geschwindigkeit 8 Kn

Liegeplatz: DLRG-Rettungsboot, HSC, Gurlitt-Insel Alster Hamburg



Abb. 61: Motorboot Manni kurz nach Indienststellung, April 2013.

Hintergrundinformationen:

Das Boot wurde am 03.04.2013 in Dienst gestellt und wird seitdem regelmäßig als Begleitboot für Regatten mittwochs und an den Wochenenden gefahren (Abb. 61).

3.1.6 Segelboote „Makowski“ und „Sawatzki“

Kategorie: Segelboot

Typ: Jolle

Modell: Skippi 650 Race

Bootsdaten:

Länge: 6,50 m

Breite: 2,48 m

Tiefgang: 0,25/1,50 m

Material: GfK

Beschichtung: „Makowski“ VC17M ohne Kupfer, „Sawatzki“ VC17M mit Kupfer

Motor: 30 PS Langschaft, maximale Geschwindigkeit 8 Kn

Liegeplatz: Segelschule Prüsse, Gurlitt-Insel Alster Hamburg



Abb. 62: Segelboot Makowski, Segelschule Prüsse.

Hintergrundinformationen:

Die Skippis dienen der Segelschule für Freifahrten und Regatten. Sie werden mindestens einmal pro Woche bewegt (Abb. 62). Geschwindigkeit variabel, je nach Windverhältnissen maximal in Gleitfahrt 8- 10 kn.

3.1.7 Motorboot „FN 1008“

Kategorie: Motorboot

Typ: Hafenboot

Modell: FN 1008

Bootsdaten:

Länge: 2,5 m

Breite: 1,2 m

Tiefgang: 0,20 m

Material: Alu

Beschichtung: Altantifouling, vor 3 Jahren zuletzt beschichtet

Liegeplatz: Ultramarin, Gohren, Bodensee



Abb. 63: Motorboot FN 1008, Bodensee.

Hintergrundinformationen:

Es handelt sich um ein Arbeitsboot des Hafens Ultramarin in Gohren, welches pro Tag mehrfach für ein bis zwei Stunden eingesetzt wird (Abb. 63). Die Geschwindigkeit liegt bei maximal 2 kn. Der Rumpf des Bootes besteht aus Aluminium.

Das Boot war vor 3 Jahren mit einer Antifoulingbeschichtung gestrichen worden, welche kaum noch vorhanden war.

3.1.8 Motorboot „Olli“

Kategorie: Motorboot

Typ: Dinghi

Modell: Dinghi

Bootsdaten:

Länge: 2,2 m

Breite: 1,2 m

Tiefgang: 0,20 m

Material: GFK

Beschichtung: keine

Liegeplatz: Hafen Sportbootverein Sacrow (Sacrower See)



Abb. 64: Motorboot Olli, Sacrower See.

Hintergrundinformationen:

Der Rumpf besteht aus GfK (glasfaserverstärktem Kunststoff) und ist nicht beschichtet worden. An den Wochenenden wird das Boot für 3 – 4 Stunden auf der Havel und ihren Nebengewässer mit einem Außenbordmotor bewegt (Abb. 64).

Die Geschwindigkeit beträgt maximal 2 kn.

3.1.9 Patrouillenboot „W16“

Kategorie: Motorschiff

Typ: Patrouillenboot

Modell:

Bootsdaten:

Länge: 9,95 m

Breite: 2,8 m

Tiefgang: 0,90 m

Material: Aluminium

Beschichtung: Wohler biozidfreie reinigungsfähige Hartantifouling

Liegeplatz: Hafen Emden/Hannover



Abb. 65: Patrouillenboot W16.

Hintergrundinformationen:

Es handelt sich um ein Patrouillenboot der Wasserschutzpolizei Niedersachsen, das ursprünglich in Emden stationiert war und im Laufe des Jahres 2013 nach Hannover verlegt wurde (Abb. 65). Vom 19.06. – 13.07.2013 lag das Schiff in Emden und war anschließend bis zum April 2014 in Hannover stationiert. Es war im April 2013 zu Wasser gelassen worden und nach erneuter Dockung in Emden Ende Mai / Anfang Juni mit der reinigungsfähigen Spezialbeschichtung „CleanTec“ der Lackfabrik Wohler beschichtet worden. Das Schiff wird pro Woche 3 – 4 Stunden bewegt, die Geschwindigkeit liegt bei maximal 16 kn, die Dienstgeschwindigkeit bei ca. 8 – 10 kn.

3.2 Mobile Reinigungsgeräte

3.2.1 Tausendbein

Da im Projektjahr 2012 die unterschiedlichen Geräte auf ihre Tauglichkeit getestet worden waren, wurden für die Testphase 2 nur die Reinigungstools auserwählt, die ein gutes Ergebnis erzielt hatten. In 2012 wurden drei Reinigungstools als vielversprechend angesehen und somit für die Tests in 2013 vorgesehen.

Das Tausendbein wurde von der Tauwerkfirma „Toplicht“ eigens als Reinigungswerkzeug angefertigt. Es handelt sich bei dem Tausendbein um eine bewegliche, überdimensionale Bürste von 2 m Länge, die auf eine griffige Schot von 8 m aufgezo- gen worden war (Abb. 66). Die Handhabung erwies sich als äußerst einfach und angenehm. Das Tausendbein kann vom Heck oder Bug aus kontinuierlich unter dem Rumpf hin und hergezogen werden, wodurch bei einer Wiederholung in umgekehrter Richtung keine Fläche ausgespart wird (s. auch Abb. 101).

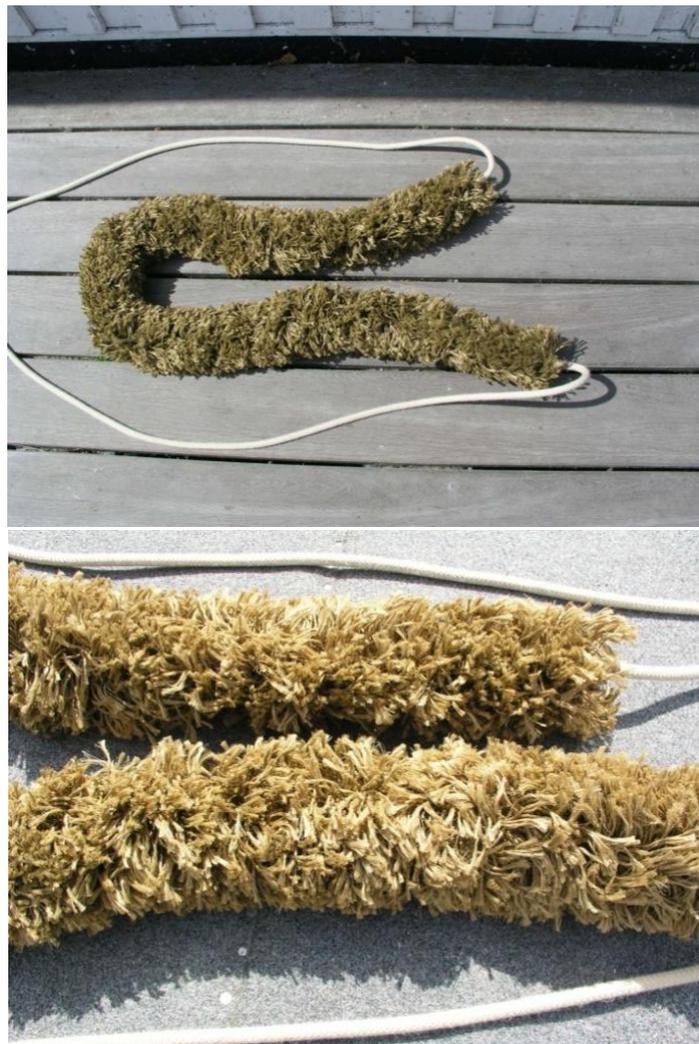


Abb. 66: Tausendbein mit Schot (oben) und in Nahaufrsicht (unten).

Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass der abgereinigte Bewuchs nicht aufgefangen werden kann und die Reinigung nur auf Booten mit aufholbarem Schwert sinnvoll eingesetzt werden kann.

Da aber nach Beendigung der Versuche in 2012 festgestellt worden war, dass die Auswirkungen des abgereinigten Bewuchses auf die Wasserqualität relativ gering blieb, wenn in ausreichend kurzen Abständen eine Reinigung erfolgte, wurde auch das Tausendbein als praktikables Reinigungsgerät in die Liste mit aufgenommen und in 2013 an Schiffsrümpfen getestet.

3.2.2 *Hulltimo*

Ein weiteres auf dem Markt erhältliches Reinigungsgerät ist ein automatischer Reinigungsroboter der Firma Hulltimo aus Grenoble (Frankreich), welches in der zweiten Projektphase ebenfalls als vielversprechend getestet wurde. Den „Hulltimo“ gibt es in zwei Ausführungen:

Hulltimo Pro

Der Hulltimo Pro ist eine Art Roboter. Die Steuerung erfolgt über eine mit einem LCD-Monitor ausgestatteter, kabelloser Fernbedienung. Durch die am Roboter installierte Kamera in Verbindung mit LED Scheinwerfern kann der Bediener den Reinigungsprozess und den Fahrweg des Gerätes in Echtzeit verfolgen. Zu Beginn der Reinigung wird der Hulltimo Pro neben dem Bootsrumpf zu Wasser gelassen. Der Roboter sucht sich selbst die Balance und schmiegt sich dem Bootsrumpf an. Während des Reinigungsprozesses saugt sich der Hulltimo selbstständig leicht an den Rumpf an und fährt die Kontur dieses ab. Über die Fernbedienung wird die Fahrtrichtung des Roboters gesteuert. Die Kameras an Vorder- und Rückseite des Roboters ermöglichen zusammen mit den LED Scheinwerfern eine Echtzeitüberwachung des Reinigungsvorgangs. Der entfernte Bewuchs wird aus dem Wasser gefiltert und in einem Beutel im Gerät aufgefangen und kann an Land entsorgt werden (Werbebroschüre Hulltimo Pro) (Abb. 67).



Abb. 67: Der Hulltimo Pro; Steuerung über eine Fernbedienung, rechts unten: Beutel mit aufgefangenem Bewuchs.

Hulltimo Smart

Der Hulltimo Smart ist im Gegensatz zu seinem Bruder viel kleiner und eher für den Handgebrauch für schwer zugängliche Stellen am Rumpf gedacht. Dieser kleine Roboter ist ebenfalls mit rotierenden Bürsten ausgestattet und wird über eine Teleskopstange an der Bootswand heruntengelassen (Abb. 68).



Abb. 68: Hulltimo Smart.

Die Stromversorgung ist über einen Akku gewährleistet, den der Bootseigner mit einer Gürteltasche bei sich tragen kann (Abb. 69). Der Hulltimo Smart verfügt ebenfalls über eine Auffangvorrichtung, um den abgereinigten Bewuchs in einem Beutel aufzufangen.



Abb. 69: Mobile Handhabung durch Akkubetrieb.

Diese beiden Reinigungssysteme wurden von der Firma von der Linden für die Tests 2013 zur Verfügung gestellt. Die Firma von der Linden ist das einzige Unternehmen in Deutschland, das den Hulltimo derzeit vertreibt.

3.2.3 Beckmann RW Rotierende-Waschbürste (BB)

Die Beckmann-Bürste gehörte in 2012 zu dem engeren Kreis der vielversprechenden Reinigungstools und wurde daher in 2013 weiterhin genutzt (s. Kapitel 2.2.1).

3.2.4 Big Easy Cleaner (BEC)

Der Big Easy Cleaner gehörte ebenfalls zu den Reinigungstools, die in 2012 gut abgeschnitten hatten und nun auf ihre Tauglichkeit am Schiffsrumpf in 2013 überprüft werden sollten (s. Kapitel 2.2.2).

3.2.5 Nordseetaucher mit CaviblasteTM (NT)

Da sich mit dem Caviblaste auch intensiver mariner Bewuchs reinigen lässt, wurde der Caviblaste für Versuche an einem Boot in Norderney ausgewählt (s. Kapitel 2.2.5).

3.3 Revier bzw. Standort der Schiffe

3.3.1 Salzwasser: Norderney - Nordsee

Zwei der Testschiffe, Frisia VIII und Windsbraut, haben ihren Heimathafen in Norderney. Norderney liegt an der Küste Ostfriesisches Wattenmeer und ist somit ein Salzwasserstandort. Der Bewuchsdruck ist hier relativ hoch, und man muss in den Sommermonaten mit heftigem Bewuchs an Hartsubstraten (z.B. Schiffsrümpfen) rechnen, wenn diese nicht mit einem wirkungsvollen Antifoulingprodukt beschichtet sind.

Die Frisia VIII war mit der biozidfreien, reinigungsfähigen Hartantifouling „Sealion Resilient“ von der Firma Jotun gestrichen und ist als Versorgungsschiff täglich im Wattenmeer unterwegs.

Die Windsbraut besaß keine Antifoulingbeschichtung und wurde zudem in der Saison 2013 auch nicht bewegt. Auf ihrem Rumpf hatte sich eine entsprechend üppige Bewuchsgemeinschaft entwickelt.

Die Beluga II hat ihren Heimathafen nicht im Salzwasser, da sie aber im Wattenmeer operierte und einige Tage im Norderneyer Hafen lag, wird sie hier aufgeführt.

Dieses Schiff durchfährt alle Salinitätsbereiche und ist auch im Brack- und Süßwasser unterwegs.

3.3.2 Süßwasser: Hamburg, Bodensee, Potsdam, Hannover

Die Boote „King Louis“, „Manni“, „Makowski“, „Sawatzki“, „MB FN“, „Olli“ und „W16“ hatten ihren hauptsächlichen Standort im Süßwasser. Hier war wesentlich geringerer Bewuchs zu erwarten, obwohl in Regionen wie dem Bodensee oder der Alster neben Algen auch hartschaliger Bewuchs in Form von Süßwassermuscheln *Dreissena polymorpha* anzutreffen war.

3.4 Ergebnisse der Bootsreinigungen

3.4.1 „Frisia VIII“

Die Frisia VIII hatte am 16.05.2013 in der Oldersumer Werft Dietrich einen reinigungsfähigen Hartantifoulinganstrich der Firma Jotun „Sealion Resilient“ bekommen (Abb. 70). Die erste und einzige Inspektion fand am 13.08.2013 im Norddeicher Hafen statt. Als Reinigungstool wurde der Big Easy Cleaner ausgewählt.

Inspektion 1: 13.08.2013

In den 89 Tagen nach Applikation hatte sich auf der Testfläche ein deutlicher Biofilm aus Algen und Seepocken, welche einen basalen Durchmesser von bis zu 5 mm angenommen hatte, gebildet (Abb. 71).



Abb. 70: Rumpf der Frisia VIII, beschichtet mit Jotun „Sealion Resilient“.

Mithilfe des Big Easy Cleaners konnten die Algen und der nicht sehr fest haftende Biofilm problemlos weggewischt werden. Einzig einige der Seepocken ($\varnothing \sim 5 \text{ mm}$) blieben auf der Beschichtung haften und konnten auch durch mehrmaliges Wischen nicht entfernt werden (Abb. 71).



Abb. 71: Jotun „Sealion Resilient“ Testfläche nach der Reinigung mit dem BEC. Vereinzelte Seepocken blieben dennoch haften.

Zur Untersuchung der Gewässergüte wurden TOC-Proben (vor und nach der Reinigung) genommen, eine Seston-Probe sowie eine definierte Menge Biomasse (s. Tab. 11 & 12).

3.4.2 „Windsbraut“

Inspektion1: 25.08.2013

Die Windsbraut kam ohne jegliche Antifouling im Winter 2012 ins Wasser, überdauerte diesen und wurde am 25.08.2013 inspiziert. Es hatte sich auf dem Rumpf sehr viel Bewuchs gebildet, wie es aber für einen Meerwasserstandort und einem Rumpf ohne Antifouling nicht weiter verwunderlich ist. Der Bewuchs bestand aus fast allen im Norderneyer Hafen vorkommenden Arten (Abb. 72):

Seepocken: *Elminius modestus*, *Balanus crenatus*

Grünalgen der Gattung: *Ulva* (syn. *Enteromorpha*)

Rotalgen der Gattung *Polysiphonia*

Miesmuscheln: *Mytilus edulis*

Tunikaten der Gattungen: *Molgula citrina*, *Botryllus schlosseri*, *Botryllus leachi*

Unbestimmte Hydrozoen (Nesseltiere)



Abb. 72: Mächtiger Bewuchs auf dem Ruder der Windsbraut (oben) und auf dem Rumpf (unten).

Die Windsbraut sollte mit dem CaviblasteTM (NT) gereinigt werden. Um einen zeitlichen Vergleich zu haben, entschied sich das Team LimnoMar auf Norderney, eine Seite der Windsbraut (backbord) mithilfe eines Tauchers zu reinigen und die andere Seite (steuerbord) mit dem Caviblaste durch die Firma Nordseetaucher. Der Taucher benutzte als Reinigungsgerät einen Spachtel aus rostfreiem Blech (Abb. 73).



Abb. 73: Taucher H. Jakobs, Reinigungsgerät: Spachtel aus rostfreiem Blech.

Der Taucher brauchte ca. 10 Minuten, um die komplette Backbordseite mit dem Spatel abzureinigen. Der Rumpf, der mit hartschaligen Organismen wie Seepocken und Muscheln stark bewachsen war, konnte mit Hilfe des dünnen Spachtels vergleichsweise einfach und schnell gereinigt werden. Der Taucher konnte den Bewuchs fast vollständig entfernen. Nur vereinzelt blieben Basalplatten von Seepocken auf dem Rumpf haften und der Biofilm wurde auf diese Weise nicht entfernt (Abb. 74 und 75).

Die Reinigung mittels Spachtel ist allerdings nur im feuchten Zustand unproblematisch. Ist der Bewuchs an Land erst einmal angetrocknet, wird der Reinigungsaufwand erheblich größer.



Abb. 74: Auskranken der Windsbraut: Backbord-Seite gereinigt durch den Taucher.



Abb. 75: Windsbraut: Nahaufnahme der Backbord-Seite gereinigt durch den Taucher. Der Makrobewuchs wurde weitgehend entfernt, der Biofilm nicht.

Es muss allerdings auch gesagt werden, dass die Windsbraut den Extremfall, also den „worst case“, der nicht eintreten soll, darstellt. Normalerweise sollte ein Boot in relativ kurzen Abständen immer wieder gereinigt werden, so dass diese Mächtigkeit von Bewuchs erst gar nicht entstehen kann und die oberen Lagen der Beschichtung nicht durch die Reinigung beschädigt werden.

Inspektion 2: 27.08.2013

Die Steuerbordseite der Windsbraut sollte mit dem Caviblaster gereinigt werden. Dafür reiste die Firma NordseetaucherTM mit Materialwagen und Taucher nach Norderney (Abb. 76).

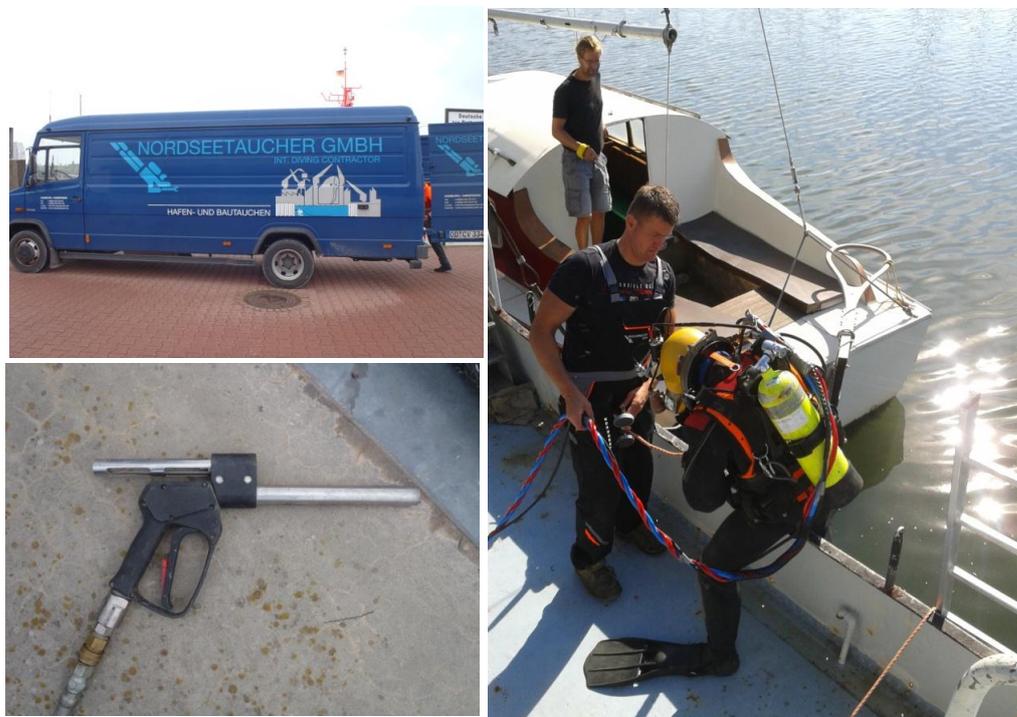


Abb. 76: Oben: Materialwagen der Nordseetaucher, unten: Cavitationspistole des CaviblastersTM, rechts: Taucher mit Ausrüstung.

Die Reinigung der Steuerbordseite der Windsbraut mit dem CaviblasterTM betrug ca. 45 min. Der Taucher hielt zur Reinigung seine Cavitationspistole auf das zu reinigende Objekt und der Bewuchs wurde durch die Kavitation (implodierende Sauerstoffblasen) „weggesprengt“ (Abb. 77). Der enorme zeitliche Aufwand lag darin begründet, dass die Windsbraut einen Extremfall an Bewuchsentwicklung darstellte und der Taucher jeden Zentimeter des Rumpfes mit der Pistole „abschießen“ musste. Das Ergebnis war zudem nicht optimal, da einige Seepocken und deren Basalplatten nicht vollständig entfernt werden konnten (Abb. 78 und 79).



Abb. 77:Taucher mit Caviblaster im Einsatz bei der Windsbraut.



Abb. 78: Windsbraut steuerbord: Seepocken und Algen wurde nicht vollständig entfernt.



Abb. 79: Windsbraut steuerbord: Auch einige Miesmuscheln blieben nach der Reinigung auf dem Rumpf haften.

Vergleicht man abschließend das Reinigungsergebnis des Tauchers „mit Spatel“ mit dem Reinigungsergebnis des CaviblastesTM (Firma Nordseetaucher), wird in Bezug auf Reinigung, Zeitaufwand und Kosten deutlich, dass der Taucher mit Spatel wesentlich effektiver reinigte.

Zur Untersuchung der Gewässergüte wurden TOC-Proben (vor- und nach der Reinigung, Steuerbord- und Backbordseite) genommen, eine Seston-Probe, sowie eine definierte Menge Biomasse (s. Tab. 11 und 12).

3.4.3 „Beluga II“

Das Schiff besitzt keine AF-Beschichtung, sondern nur eine Epoxidhartbeschichtung als Korrosionsschutz, die in bestimmten Intervallen gereinigt werden muss.

Inspektion 1: 02.08.2013

Die Beluga II lag Anfang August für einige Tage im Hafen von Norderney. Hier wurde der Flachboden am 02.08.2013 von einem Taucher unter Wasser gereinigt. Der Taucher setzte den flexiblen Plastik- Spatel ein und entfernte v.a. hartschaligen Bewuchs vom Rumpf. Der Taucher benötigte dafür ca. 45 Minuten. Nach dieser Zwischenstation der Beluga II im Salzwasser mit Reinigung des Unterwasserschiffs durch den Taucher ging es für das Schiff weiter Richtung Ijsselmeer und von dort aus in den Rhein (→ Main-Donau-Kanal → Rhein → WDK → Kanäle → Elbe → Kanäle → Rhein). Das Schiff fuhr also nach der Reinigung auf Norderney nur noch im Süßwasser.

Inspektion 2: 07.10.2013

Die zweite Inspektion der Beluga II fand am 07.10.2013 in Wesel (Rhein) statt. Als Reinigungsgerät fungierte hier der Hulltimo Pro. Die Firma von der Linden stellte das Reinigungsgerät sowie einen geschulten Mitarbeiter, der mit der Handhabung des Hulltimo vertraut war, zur Verfügung. Einige Berufstaucher von Greenpeace waren ebenfalls anwesend, um den Reinigungserfolg unter Wasser zusätzlich zu dokumentieren.

Der Bewuchs, den die Beluga II zu diesem Zeitpunkt aufwies, bestand aus einem schleimigen Biofilm und Seepockenresten am Flachboden, sowie Grünalgen vertikal am Rumpf und am Wasserpass (Aussage Taucher Greenpeace).

Der Hulltimo Pro wurde ins Wasser gesetzt und mit einer Lenkstange an die Bordwand geführt (Abb.80).

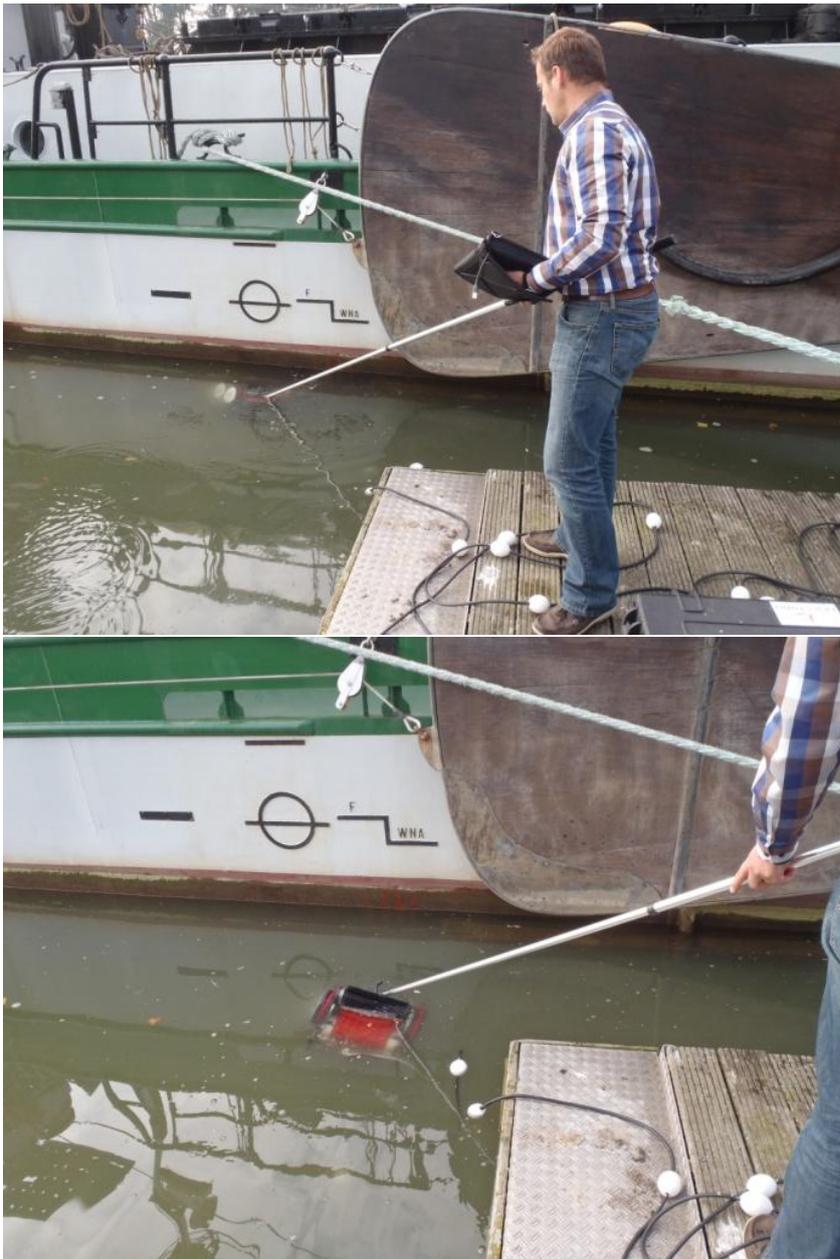


Abb. 80: Mitarbeiter der Firma von der Linden mit Fernbedienung, oben. Mit der Lenkstange wird der Roboter Hulltimo Pro in die richtige Position am Schiffsrumpf gebracht, unten.

Ab hier wurde er mittels Fernbedienung den Rumpf in vertikaler Lage Richtung Kiel geschickt. Dank der Videokamera unter Wasser konnte der Techniker kontrollieren, an welcher Stelle des Rumpfes sich der Roboter jeweils befand (Abb. 81).

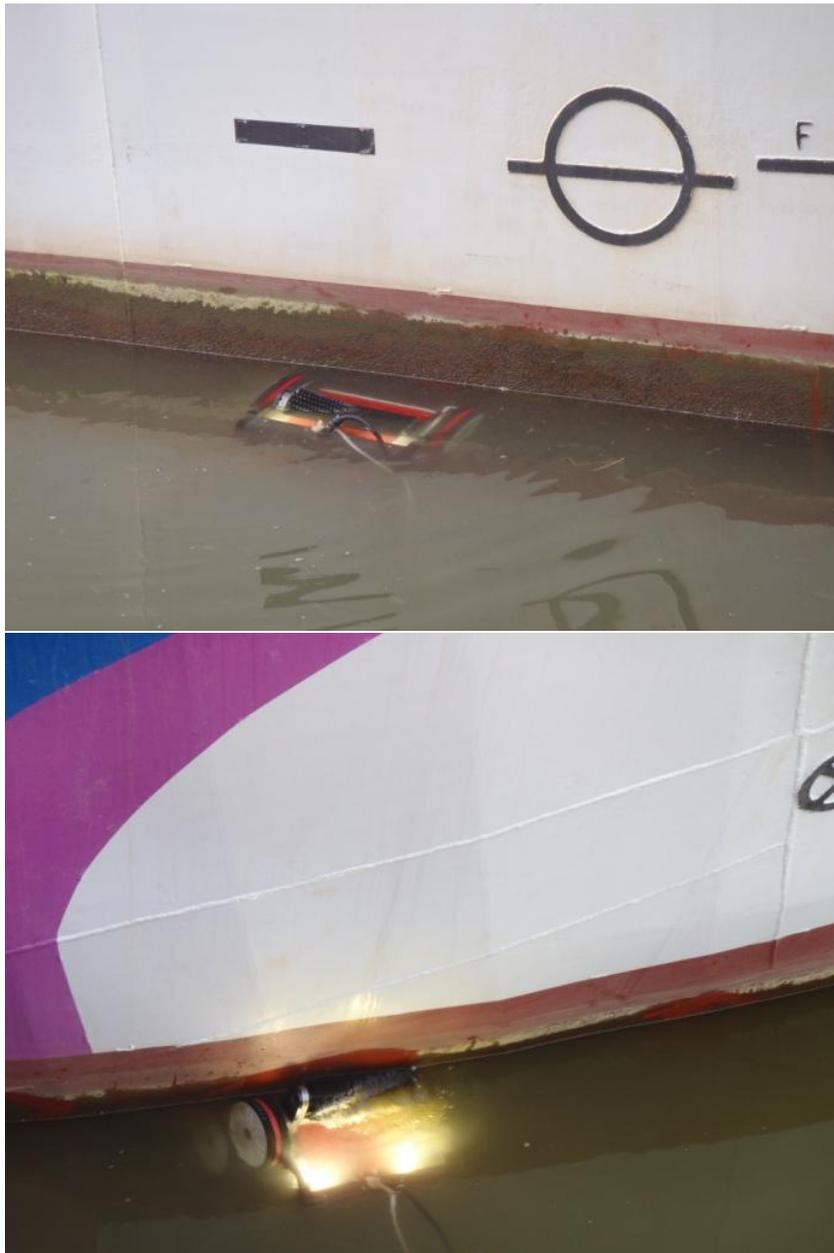


Abb. 81: Hulltimo Pro in Aktion. Vertikale Streifen am Rumpf werden abgefahren und mithilfe der rotierenden Bürsten wird der Rumpf gesäubert.

Der Roboter reinigte in der zur Verfügung stehenden Zeit von ca. 2 Stunden etwa die Hälfte des Schiffsrumpfes. Der Reinigungserfolg war zufriedenstellend. Nach Aussagen des Tauchers wurden 90 - 95% der Grünalgen entfernt, 100% des Schleims (Biofilms) und sogar 90 - 100% der Seepocken.

Einzig das Auffangsystem des Hulltimo Pro war ein Kritikpunkt (Abb. 82). Nach der Reinigung wurde der Beutel entfernt und hatte nur eine geringe Menge des abgereinigten Bewuchses auffangen können. Dies lag wahrscheinlich daran, dass der Roboter zum Teil auch in umgekehrter Richtung fuhr und dadurch der abgereinigte Bewuchs nicht aufgesaugt werden konnte.



Abb. 82: Aufangvorrichtung für den Auffangbeutel, oben. Aufgefangener Bewuchs nach Rumpfreinigung, unten.

Alles in allem war die Erfahrung mit dem Hulltimo Pro zufriedenstellend. Der Roboter arbeitete geräuscharm, und die Tatsache, dass der Roboter auch festsitzende Seepocken abbürsten konnte, war positiv. Der einzige Nachteil war, dass der Roboter nur bis zu ca. 10 - 15 cm vor dem Kiel reinigen konnte, da die Bürsten die Ecknische zwischen Kiel und Rumpf nicht erreichen konnten.

Da der Hulltimo Pro von geschultem Personal betrieben werden muss, ist er für den einzelnen Bootseigener eher nicht geeignet. Es ist aber durchaus vorstellbar, dass sich ein Wassersportverein oder eine Marina ein Gerät anschafft und eine Person

(Hafenmeister) auf den Hulltimo geschult wird, so dass die mobile Unterwasserreinigung als „Service“ angeboten werden kann.

Zur Untersuchung der Gewässergüte wurden TOC-Proben (vor und nach der Reinigung), eine Seston-Probe sowie eine definierte Menge Biomasse genommen (s. Tabellen 11 und 12).

Inspektion 3: 11.-13.12.2013

Am 11. - 13.12.2013 stand die eigentliche Inspektion der Beluga II in der Behrens Werft Hamburg-Finkenwerder an, da das Schiff auf die Helling gezogen werden sollte. Bei diesem Anlass wurden am Werftanleger zuvor verschiedene Unterwasserkameras unter Wasser getestet, um eine Kontrolle der Bewuchsentwicklung vorzunehmen und die Bildqualitäten verschiedener Geräte vergleichen zu können.

Direkt nach der Unterwasserinspektion kam das Schiff auf die Helling, sodass der direkte optische Eindruck mit den Aufnahmen der Unterwasserkameras verglichen werden konnte.

Bei der Unterwasserinspektion wurden drei verschiedene optische Systeme eingesetzt:

- Seasnake, Ridgid
- Pipe viZaar
- SNK-viZaar

Die Seasnake wurde behelfsmäßig an einer Stange befestigt. Das Bewuchsbild konnte sowohl über den Monitor der Seasnake als auch über den Kontrollmonitor von viZaar betrachtet werden. Dabei wurden einzelne fotografische Aufnahmen gemacht. Der Rumpf der Beluga konnte an der Steuerbordseite vom Bug zum Heck inspiziert werden, wobei drei Bereiche am Bug, mittschiffs und am Heck optisch unter Wasser untersucht wurden. Mit allen eingesetzten Geräten zeigten sich flächige, unregelmäßig verteilte kurzfädige Grünalgen, unter denen teilweise Basalplatten von zuvor abgereinigten Seepocken zu erkennen waren (Abb. 83 – 85). Es handelte sich fast ausschließlich um die Brackwasserseepocke (*Balanus improvisus*).



Abb.83: Unterwasseraufnahmen Beluga II mit Seasnake, Ridgid: Basalplatten von Brackwasserseepocken.



Abb. 84: Unterwasseraufnahmen Beluga II mit PIPE, viZaar: Grünalgen auf Basalplatten von Seepocken.

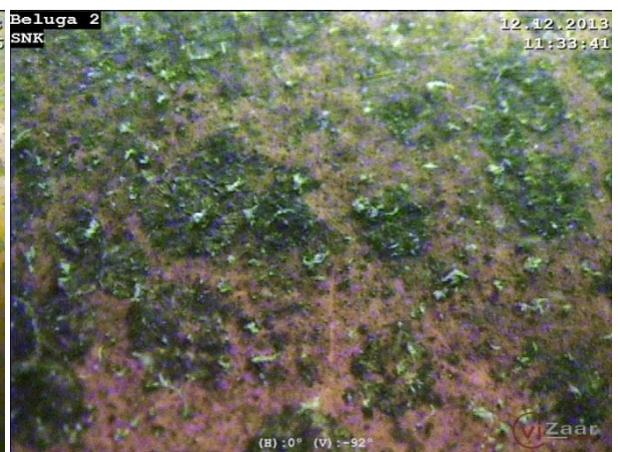
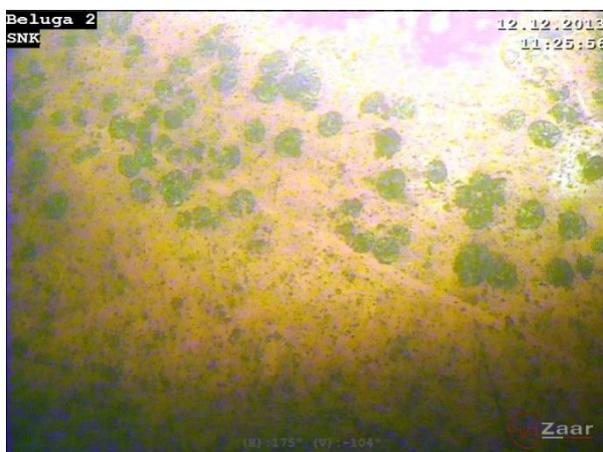


Abb.85: Unterwasseraufnahmen Beluga II mit SNK, viZaar: Grünalgen auf Basalplatten von Seepocken.

In den Unterwasseraufnahmen war deutlich zu erkennen, dass auf den Basalplatten der abgereinigten Seepocken bevorzugt Algenkolonien entstanden waren. Wie in den Abbildungen 83 – 85 ersichtlich ist, war ein deutlicher Qualitätsunterschied zwischen den einzelnen Geräten vorhanden. Während die Aufnahmen mit der „Seasnake“ sehr unscharf sind, sind auf den Aufnahmen mit der PIPE schon deutlichere Konturen zu erkennen. Die SNK war in der Lage, sehr scharfe Bilder zu liefern.

Bei der anschließenden Inspektion auf der Helling bestätigte sich das durch die Unterwasserkameras gelieferte Bild im Wesentlichen, konnte aber um wichtige Details ergänzt werden. Insbesondere ein dichter Seepockenbewuchs längs des Stevens sowie auf den nicht beschichteten Pallenflächen war auf den Unterwasseraufnahmen vorher nicht beobachtet worden.

Insgesamt war der Rumpf flächig bis verstreut mit kurzfädigen Grünalgen bedeckt. Auf einigen Flächen am Bug und mittschiffs hatten sich die Algen bevorzugt, wie auch auf den Unterwasseraufnahmen sichtbar, auf den Basalplatten der Seepocken niedergelassen (Abb. 86 – 89 und Tab. 6).

Tab.6: Bewuchsverteilung auf der Beluga II durch visuelle Inspektion auf der Helling

Rumpfbereich	Seepocken	Basalplatten	Grünalgen	Biofilm
Bug Stb	X	X	X	X
Bug Bb	X	X	X	X
Mittschiffs Stb			X	
Mittschiffs Bb			X	X
Heck Stb	Vereinzelt	X	X	X
Heck Bb		X	X	X
Ruder			X	X
Steven	X dicht	X		



Abb. 86: Bug mit Steven und Querstrahlruder. Fleckiger Grünalgenbewuchs und dichter Seepockenbewuchs am Steven.



Abb. 87: Bug Nahansicht nach der Reinigung: Einige Basalplatten von Seepocken waren nicht entfernt worden.



Abb. 88: Bugbereich Backbord, dichter Algenbewuchs.



Abb. 89: Dichter Seepockenbewuchs auf den Pallenflächen der vorhergehenden Dockung.

Der Rumpf wurde nach der Inspektion mit einem Hochdruckwascher mit ca. 300 bar und einer rotierenden Dreckfräse gereinigt. Die Reinigung war relativ einfach und war durch ein- bis zweimaliges Überstreichen mit der Düse zu bewerkstelligen. Dennoch blieben die Basalplatten der meisten Seepocken auch nach der Reinigung haften.

3.4.4 Motorboot „King Louis“

Das Boot wurde im Jahr 2012 angeschafft und lag unbeschichtet die komplette Saison 2012 im Wasser. Es hatte sich ein Biofilm gebildet, welcher im November 2012 mittels Hochdruckwascher (100 -120 bar) abgereinigt worden war. Es blieb dennoch eine schwärzliche, festhaftende Schicht von ca. 5 - 10 µm bestehen. King Louis wurde am 15. März 2013 zu Wasser gelassen und trug weiterhin keine Rumpfbeschichtung, da es bisher nicht möglich ist, Polyethylen-Rümpfe dauerhaft zu beschichten. Eine Übersicht über die Inspektionen und den Bewuchs wird in Tabelle 7 gegeben.

Tab. 7: Inspektionen und Reinigungen vom Motorboot King Louis

Inspektion	Datum	Bewuchs	Reinigung	Reinigungserfolg
1	03.05.2013	Biofilm Vorjahr	Nur Inspektion	
2	13.06.2013	Frischer Biofilm	Nur Inspektion	
3	02.08.2013	Biofilm	Nur Inspektion	
4	27.09.2013	Biofilm	Reinigung Beckmann-Bürste, TB	Beckmann-Bürste Abbruch, TB erfolgreich
5	07.11.2013	Biofilm, Zebamuscheln, Brackwasserpolyp	Am Kran Hochdruckwascher 150 bar	Erfolgreich bis auf Biofilm

Inspektion1: 03.05.2013

Im Mai 2013 war eine deutliche Biofilmbildung von ca. 1000 – 2000 μm Dicke feststellbar (Abb. 90). Die Konsistenz des Biofilms war relativ weich und bis auf die fest sitzende Schicht vom Vorjahr leicht abwischbar.



Abb. 90: Inspektion 1, King Louis, Schwärzlicher Biofilm aus der Saison 2012.

Inspektion 2: 13.06.2013

Nach 5 Wochen hatte sich lediglich ein sehr dünner Biofilm neu gebildet, der nicht abgereinigt wurde (Abb. 91).



Abb. 91: Inspektion 2, Dünner Biofilm am Rumpf und am Motorschaft.

Inspektion 3: 02.08.2013

Bei der 3. Inspektion nach 12 Wochen wurde ebenfalls nur ein dünner Biofilm beobachtet, der so eingeschätzt wurde, dass eine Reinigung zu diesem Zeitpunkt nicht notwendig war.

Inspektion 4: 27.09.2013

Nach 19 Wochen hatte sich ein stabiler, gut haftender Biofilm etabliert, der eine Reinigung erforderte. Ein Reinigungsversuch mit der Beckmann Bürste wurde abgebrochen, da nur die peripheren Teile des Rumpfes erreichbar waren. Eine nachfolgende Reinigung mit dem Tausendbein war leicht zu handhaben und sehr schnell durchzuführen (Abb. 92). Es waren zwei Reinigungen vom Bug zum Heck und zurück mit einer Dauer von je drei Minuten pro Durchgang notwendig. Die Erfolgskontrolle durch leichtes Krängen zeigte eine gute Wirksamkeit.



Abb. 92: Inspektion 4, Reinigungsversuche an King Louis mit Beckmannbürste, oben und Tausendbein, unten.

Inspektion 5: 07.11.2013

Die hintere Hälfte des Rumpfes wies dichten Bewuchs in Form von Zebrauscheln (*Dreissena polymorpha*) in Größen von 5 – 10 mm auf (Abb. 93). Der restliche Rumpf war mit einem Biofilm sowie einigen Brackwasserpolyphen (*Cordylophora caspia*) bedeckt. Die Haftung war relativ gering. Es erfolgte eine Reinigung an Land mit einem Wasser-Hochdruckreinigungsgerät (Kärcher mit rotierender Düse) mit ca. 150 bar (Abb. 94). Ein schwärzlicher Biofilm blieb auch nach dieser Reinigung teilweise auf dem PE haften.



Abb. 93: Inspektion 5, Verstreuter bis dichter Zebrauschelbewuchs.



Abb. 94: Inspektion 5, King Louis Rumpf nach Reinigung mit Hochdruckwascher, 150 bar.

3.4.5 PP-Rettungsboot „Manni“

Das Boot wurde am 03.04.2013 in Dienst gestellt und wird seitdem regelmäßig als Begleitboot für Regatten mittwochs und an den Wochenenden gefahren. Eine Übersicht über den Bewuchs und die Inspektionen liefert Tabelle 8.

Tab. 8: Inspektionen und Reinigung Manni

Inspektion	Datum	Bewuchs	Reinigung	Reinigungserfolg
1	13.06.2013	Frischer Biofilm	Nur Inspektion	
2	02.08.2013	Biofilm, Brackwasserpolyp	Nur Inspektion	
3	27.09.2013	Biofilm, Brackwasserpolyp	Reinigung TB	effektiv

Inspektion 1: 13.06.2013

Bei der Inspektion am 13.06.2013 wurde nach neun Wochen an den Rumpfseiten ein dünner Biofilm beobachtet. Dieser wurde so eingeschätzt, dass nicht gereinigt werden musste.

Inspektion 2: 02.08.2013

Nach 16 Wochen wurde bei der 2. Inspektion ein dichter Biofilm und Bewuchs aus verzweigten Kolonien des Brackwasserpolypen (*Cordylophora caspia*) festgestellt (Abb. 95). Trotzdem erfolgte noch keine Reinigung.

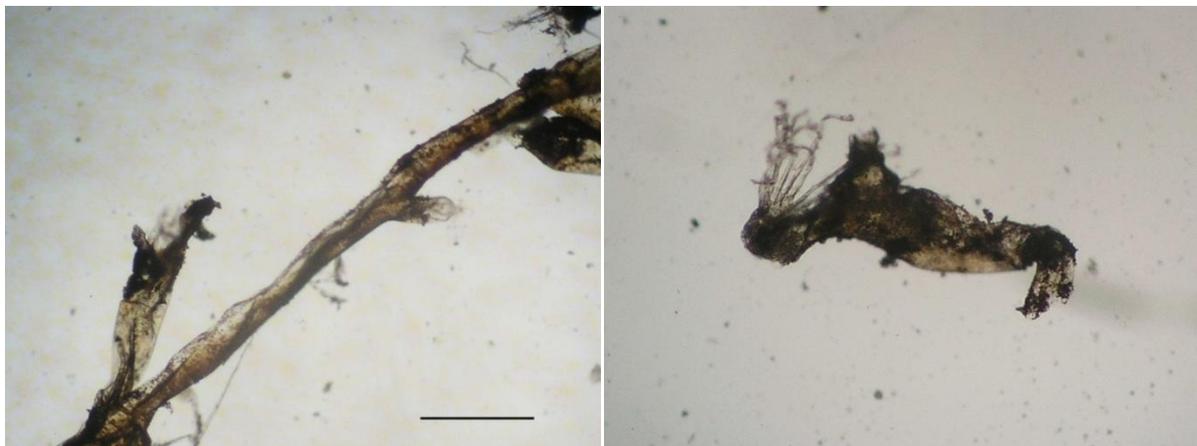


Abb. 95: Inspektion 2 am 02.08.2013, Motorboot Manni, Brackwasserpolyp (*Cordylophora caspia*) mit Biofilmresten, Balken 1 mm.

Inspektion 3: 27.09.2013

Die Reinigung von Manni am 27.09.2013 erfolgte mit dem Tausendbein und konnte schnell und einfach (3 Min./Durchgang) durchgeführt werden. Leider wurde das Boot anschließend nicht gekrant, da es bis Ende Dezember 2013 im Wasser bleiben musste. Deshalb konnte auch keine Inspektion über Wasser erfolgen.

3.4.6 Segelboote „Makowski“ und „Sawatzki“

Die Makowski wurde am 25.03.2013 mit der Antifoulingbeschichtung VC 17M ohne Kupfer beschichtet und am 02.04.2013 zu Wasser gelassen. Diese Jolle diente der Segelschule für Freifahrten und Regatten. Sie wurde mindestens einmal pro Woche bewegt. Die Geschwindigkeit war naturgemäß variabel und betrug je nach Windverhältnissen in Gleitfahrt maximal 8- 10 kn. Die Makowski lag neben einer zweiten Skippi 650, der Sawatzki. Diese wurde zum Vergleich mit VC17M mit Kupfer beschichtet und besaß ein identisches Fahrprofil. Dieser direkte Vergleich wurde gewählt, da VC17M eine im Sportbootsektor sehr verbreitete Beschichtung ist. Das Antifoulingprodukt besteht aus der Kombination einer Antihafbeschichtung auf Teflonbasis und dem Zusatz von Kupfer. Für die Reinigungsversuche wurde auf der Makowski das Kupferpulver, welches sich in einer separaten Dose befindet, nicht in die Teflonbasis gemischt. Die Sawatzki wurde als „Kontrollboot“ ohne Reinigung mit einer bioziden Antifouling am Ende der Saison inspiziert und der Bewuchs verglichen. Eine Übersicht über die Inspektionen liefern die Tabellen 9 und 10.

Tab. 9: Inspektionen und Reinigungen der Makowski

Inspek- tion	Datum	Bewuchs	Reinigungs- geräte	Reinigungs- erfolg	Reinigungs- intervall
1	03.05.13	Biofilm	Nur Inspektion		
2	13.06.13	Biofilm	BEC	überwiegend effektiv	14 Wochen
3	10.07.13	Biofilm, Muschelsaat	Nur Inspektion		
4	19.07.13	Biofilm, junge Zebra-Muscheln	TB	sehr effektiv	6 Wochen
5	02.08.13	Biofilm	Nur Inspektion		
6	02.09.13	Biofilm, Zebra-Muscheln, Schwämme	BEC, Schwamm, Pad	Effektiv, aber aufwendig	6 Wochen
7	27.09.13	Biofilm, Brackwasser- polyp	TB	Bis auf Schwertbereich erfolgreich	4 Wochen
8	07.11.13	Biofilm, Diatomeen Brackwasser- polyp, Schwämme	Am Kran Hochdruckwascher 150 bar	Erfolgreich, auch Biofilm entfernt	9 Wochen

BEC = Big Easy Cleaner, TB = Tausendbein

Inspektion 1: 03.05.2013

Bei der 1. Inspektion nach 4 Wochen konnte auf der Makowski ein ausgeprägter, grünlicher Biofilm mit geschätzten Schichtdicken von 2.000 – 3.000 µm beobachtet werden. Die Konsistenz war weich, schleimig und leicht abwischbar. Der Biofilm wurde nicht abgereinigt.

Auf der Sawatzki hatte sich hingegen noch kein Biofilm gebildet (Abb. 96 und 97).

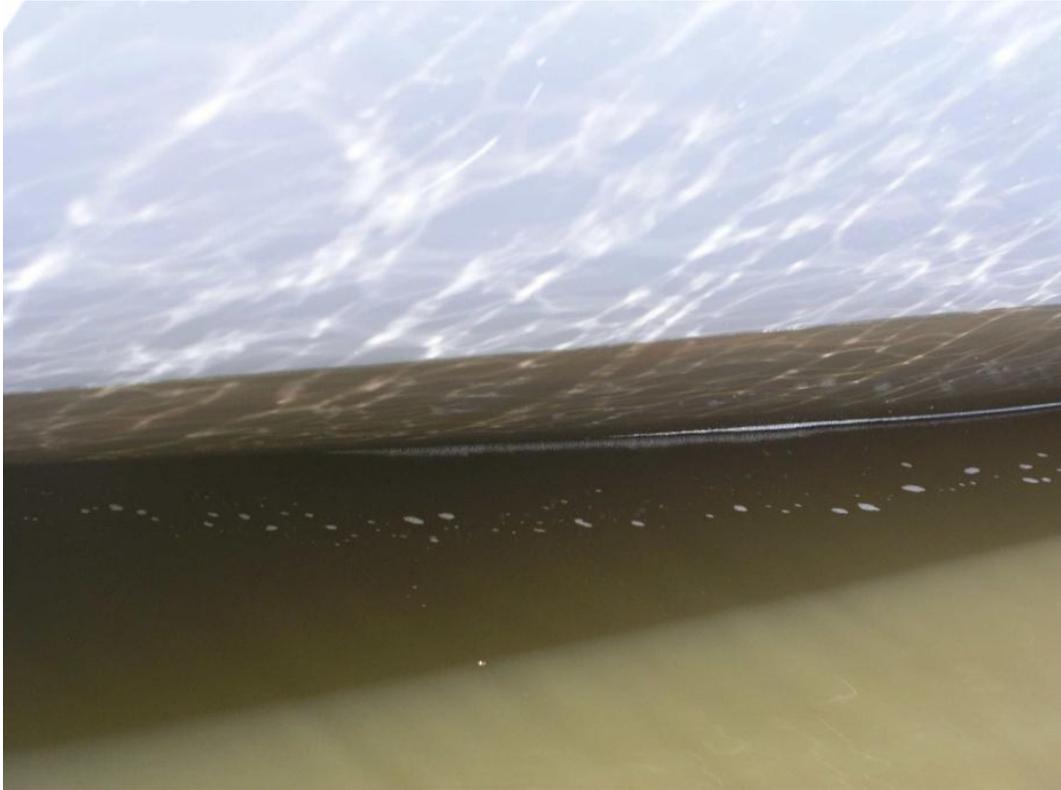


Abb. 96: Inspektion 1 nach 4 Wochen, Segelboot Makowski mit VC17 M ohne Kupfer mit Biofilmbildung.

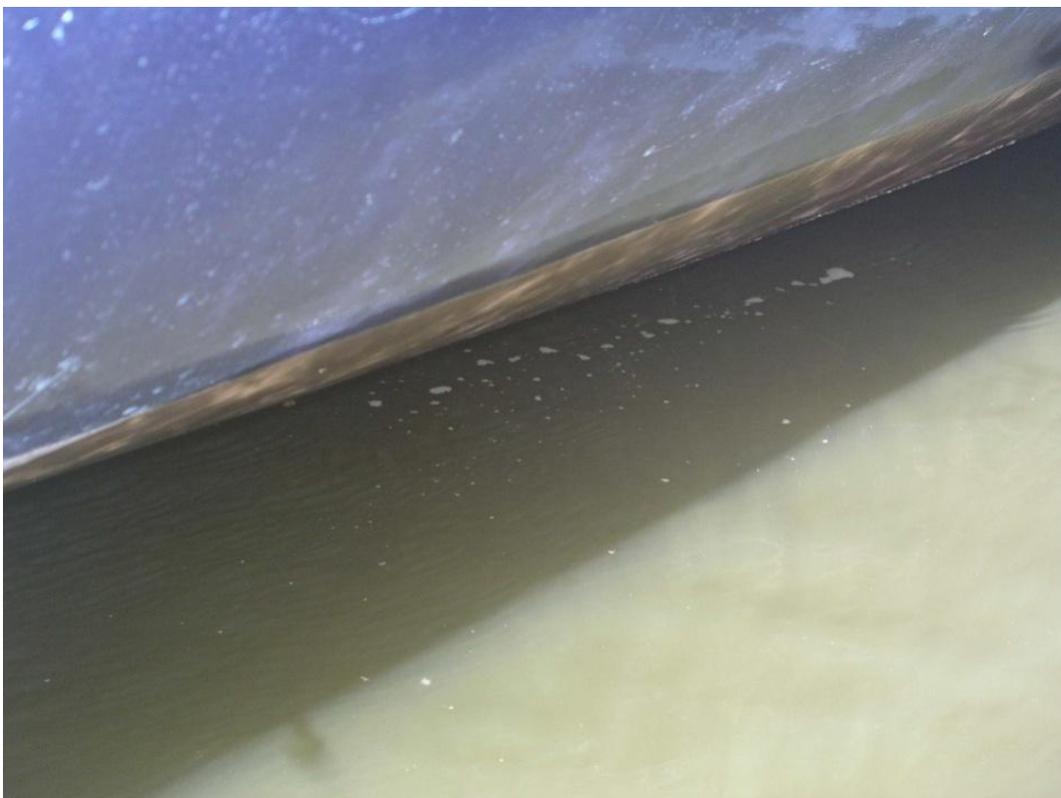


Abb. 97: Inspektion 1 nach 4 Wochen, Kontrollboot Sawatzki mit VC17 M mit Kupfer ohne Biofilmbildung.

Inspektion 2: 13.06.2013

Bei der 2. Inspektion nach neun Wochen hatte sich der Biofilm stärker ausgebildet. Es wurde eine Reinigung mit dem BEC vorgenommen, die für einen Reinigungsvorgang ca. 20 Minuten beanspruchte. Der Aufwand war relativ gering, dennoch wurde festgestellt, dass es schwierig war, exakt alle Bereiche des Rumpfes zu erreichen. Zudem kam es leicht zu seitlichen Verkantungen des Pads. Außerdem wäre eine zusätzliche Winkelverstellung der Halterung wünschenswert gewesen, da die Stange für die tieferen Rumpfbereiche an der Bordwand scheuerte. Eine Kontrolle des Reinigungserfolgs war beim BEC erst nach Abschluss der Reinigung möglich. Es zeigte sich an noch vorhandenen Biofilmbereichen, dass es mit dem BEC sehr schwer war, den Rumpf ohne Aussparungen zu reinigen. Die im ersten Reinigungsgang nicht erfassten Bereiche mussten durch einen 2. Reinigungsgang nachgearbeitet werden (Abb. 98). Desweiteren stellte sich heraus, dass der BEC zur Reinigung des Schwerts nicht geeignet ist, da er in senkrechten Positionen keinen Andruck durch Auftrieb erzeugen kann.



Abb. 98: Inspektion 2, Makowski vor (links) und nach (rechts) der Reinigung. Nach der Reinigung sind deutlich ausgesparte Bereiche zu sehen, die nachgearbeitet werden mussten.

Bei einer Kontrolle der Sawatzki zeigte sich ein schmaler Biofilmstreifen an der Wasserlinie. Ansonsten war der Rumpf bewuchsfrei (Abb. 99).



Abb. 99: Inspektion 2, Kontrollboot Sawatzki, mit Kupferteflon-AF, ungereinigt.

Inspektion 3: 10.07.2013

Bei der dritten Inspektion nach 13 Wochen zeigte sich ein dichter Biofilm, auf dem sich Muschelsaat angesiedelt hatte. Es handelte sich hierbei um die Saat der Zebrauschel (*Dreissena polymorpha*). Die Größe der jungen Muscheln variierte zwischen 0,5 und 1 mm (Abb. 100). Es wurde keine Reinigung an diesem Tag vorgenommen, sondern für die folgende Woche geplant, um mit dem Tausendbein eine neue Reinigungsmethode ausprobieren zu können.



Abb. 100: Inspektion 3, Makowski, Muschelsaat der Zebrauschel (*Dreissena polymorpha*), Exemplare, 0,5 -1 mm (Balken 1 mm).

Inspektion 4: 19.07.2013

Bei der 4. Inspektion nach 14 Wochen waren die Zebrauscheln auf einige Millimeter angewachsen. Zur Reinigung wurde dieses Mal das Tausendbein (TB) benutzt. Die Handhabung erwies sich als äußerst einfach und angenehm. Das TB wurde vom Heck aus kontinuierlich unter dem Rumpf hin- und hergezogen, wodurch keine Flächen ausgespart wurden (Abb. 101). Als großer Nachteil wirkte sich aber aus, dass das Schwert nicht aufgeholt werden konnte und daher die Rumpfbereiche oberhalb des Schwertes anfangs nicht gereinigt werden konnten. Die Dauer der Reinigung für einen Durchgang betrug 15 Minuten. Wie durch leichtes Krängen des Bootes festzustellen war, erwies sich der Reinigungserfolg als sehr gut. Es stellte sich aber auch heraus, dass die Schot länger gewählt werden könnte, um ein Ausrutschen aus der Hand zu verhindern oder beide Enden während der Reinigung miteinander verbinden zu können.



Abb. 101: Reinigung mit dem Tausendbein durch Hin- und Her-Bewegungen unter dem Rumpf.

Inspektion 5: 02.08.2013

Nach 16 Wochen war nur ein Biofilm auf dem Rumpf festzustellen, es schien keine Reinigung erforderlich zu sein. Die Kontrolle der Bewuchsentwicklung war bis zu diesem Zeitpunkt überwiegend durch Abtasten des Rumpfes vom Heck des Bootes aus erfolgt. Wie sich in der nachfolgenden Inspektion durch Krängung herausstellte, war dieses jedoch ungenügend und fehlleitend, da der Bewuchs sich vor allem in den tiefer liegenden Bereichen des Rumpfes entwickelt hatte.

Inspektion 6: 02.09.2013

Vor dieser Inspektion war schon von der Segelschule bemerkt worden, dass die Makowski im Verhältnis zur Sawatzki deutlich langsamer geworden war und bei Regatten ein deutlicher Nachteil zu spüren war. Es wurden daher Vorrichtungen getroffen, das Boot um 90° zu krängen, um die jeweilige Rumpfhälfte komplett inspizieren zu können.

Bei der Krängung stellte sich heraus, dass der Rumpf in den tieferliegenden Bereichen beidseitig dicht mit Zebamuscheln bewachsen war (Abb. 102 und 103). In den oberen Bereichen war ein dichter Biofilm mit vereinzelt Schwämmen vorhanden. Dieser Bewuchs war weder mit dem BEC noch mit dem Tausendbein hinreichend zu reinigen. Daher wurde die Krängung dazu benutzt, den Rumpf von einem Beiboot aus mit einem Schwamm (mit einseitigem rauem Vlies) zu reinigen. Diese Reinigungs-Methode erwies sich als effektiv, aber zeitaufwendig, wobei die Haftung der Muscheln und Schwämme gering war.



Abb. 102: Inspektion 6, der vordere Rumpfbereich des Segelbootes Makowski war stark bewachsen mit Zebrauscheln und Schwämmen.



Abb. 103: Inspektion 6, der hintere Rumpfbereich des Segelbootes Makowski war stark bewachsen mit Zebrauscheln und Schwämmen.

Die Zebrauscheln besaßen eine durchschnittliche Länge von 3 – 10 mm, die Bewuchsdichte in den unteren Bereichen lag bei 80%. Der Bewuchs auf dem unbeschichteten Schwert war so stark, dass er nur mit einem Paddel abgestochen werden konnte. Offensichtlich hatte sich der Bewuchs des Rumpfes vom Schwert sehr stark ausgebreitet, da dieses mit den bisher eingesetzten Methoden nicht zu reinigen gewesen war. Das Schwert konnte an diesem Tag nicht gereinigt werden, da es nicht aufholbar war.

Durch die Reinigung wurden die Muscheln und die Schwämme, nicht aber der Biofilm entfernt (Abb. 104). Nach Aufrichten des Bootes wurde trotzdem noch einmal das Tausendbein als Nachsorge benutzt. Der gesamte Reinigungsvorgang inklusive der Krängung betrug zwei Stunden.



Abb. 104: Inspektion 6, Makowski, Backbord Rumpf einseitig gereinigt.

Inspektion 7: 27.09.2013

Die 7. Inspektion erfolgte 3 Wochen nach der vorherigen Reinigung. Das Segelboot wurde dazu leicht gekrängt. Schwacher Bewuchs aus verzweigten Kolonien des Brackwasserpolyphen und ein dichter Biofilm mit hohem Diatomeenanteil wurde sichtbar. Muscheln wurden nicht beobachtet (Abb. 105). Es erfolgte eine zweimalige

Reinigung mit dem Tausendbein, welche je 6 Minuten dauerte. Bei einer Erfolgskontrolle durch abermaliges Krängen war nur noch ein Biofilm feststellbar. Um die bisherige Schwachstelle der Aussparung des Schwertbereichs zu überwinden, wurde das Tausendbein diagonal zum Schiffsrumpf eingesetzt, was durch eine Führung der Schot an einer Fußreling im Bugbereich möglich war. Hierdurch konnten auch die Rumpfbereiche seitlich des Schwertes gereinigt werden, allerdings nicht das Schwert selbst. Bei der Krängung hatte sich aber gezeigt, dass kein neuer Larvenfall mit Muschelsaat stattgefunden hatte.

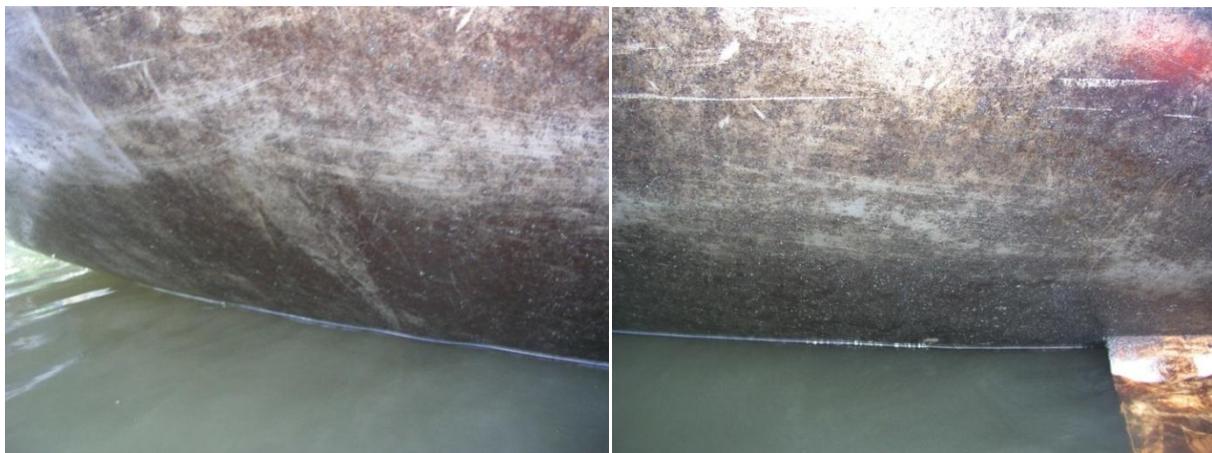


Abb. 105: Inspektion 7, Makowski vor der Reinigung mit Biofilm und Brackwasserpolypen.

Inspektion 8: 07.11.2013

An diesem Termin fand die Abschlussinspektion der Boote an der Alster statt. Dazu wurden die beiden Segelboote Makowski und Sawatzki mit einem Kran aus dem Wasser gehoben, um die Rumpffläche genau inspizieren zu können. Die Inspektion fand auf dem Gelände des Hamburger Segel Clubs (HSC) statt.

Endinspektion „Makowski“

Dieses Boot wurde, wie erwähnt, nur mit einer Teflonmatrix (VC17 M ohne Kupfer) beschichtet und in unterschiedlichen Abständen mehrfach gereinigt. Der Rumpf wies am 07.11.2013 eine flächige Biofilm-Bedeckung sowie Bewuchs mit dem Brackwasserpolypen (*Cordylophora caspia*) auf (Abb. 106). Zebamuscheln waren auf dem Rumpf nicht vorhanden. Das Schwert war fast komplett mit einem Biofilm und einem lokalen Bündel aus Zebamuscheln bedeckt (Abb. 107). Nach der Reinigung mit einem Hochdruckwascher (150 bar) zeigte sich, dass der Biofilm auf

dem Schwert wesentlich stärker haftete als derjenige auf dem Rumpf. Aber auch auf dem Rumpf konnte der Biofilm nicht vollständig durch die Einwirkung des Hochdruckwaschers entfernt werden. Es blieb dennoch ein dünner, bräunlicher Film zurück.

Die Beschichtung hatte die Reinigungsaktivitäten insgesamt gut überstanden. Nur in der Nähe der Wasserlinie war sie kleinräumig beschädigt worden.



Abb. 106: Inspektion 8, Segelboot Makowski: Bewuchs aus Brackwasserpolypen und flächigem Biofilm vor der abschließenden Reinigung.



Abb. 107: Segelboot Makowski, links, Nahansicht des Bewuchses aus Brackwasserpolyphen und flächigem Biofilm vor der abschließenden Reinigung, rechts, Bewuchs auf dem Schwert vor der abschließenden Reinigung; vereinzelt Bündel aus Zebamuscheln, Brackwasserpolyphen und flächigem Biofilm.

Zur Untersuchung der Gewässergüte wurden TOC-Proben (vor und nach der Reinigung) vom Rumpf der Makowski genommen, eine Seston-Probe sowie eine definierte Menge Biomasse (s. Tab. 11 und 12).

Endinspektion Kontrollboot Sawatzki

Tab. 10: Inspektionen und Endreinigung der Sawatzki

Inspektion	Datum	Bewuchs	Reinigungsgeräte
1	03.05.13	Kein Biofilm	Nur Inspektion
2	13.06.13	Biofilm nur im Wasserpass	Nur Inspektion
3	10.07.13	Biofilm, Muschelsaat	Nur Inspektion
4	02.08.13	Biofilm nur im Wasserpass	Nur Inspektion
5	07.11.13	Biofilm, Diatomeen Brackwasser-polyp, Schwämme, Zebamuscheln Trailerauflage und Schwert	Am Kran Hochdruckwascher 150 bar

Wie aus der Tabelle 10 ersichtlich ist, zeigte der Rumpf bis auf den Wasserpass praktisch keinen Biofilm und keinen Makrobewuchs im Zeitraum vom Zuwasserlassen am 2.4. und dem Auskranken des Bootes am 7.11.2013. Bei der Endinspektion zeigte sich aber auf den tieferen Bereichen des Rumpfes ein sehr heterogenes Bewuchsbild. Der größte Teil des Rumpfes mit intakter Teflon- plus Kupfer-Beschichtung war mit einem bräunlichen Biofilm bedeckt. Zwei Streifen im Bug- und Heckbereich waren dicht mit Zebamuscheln (5 - 15 mm) und Schwämmen (Durchmesser 10 - 30 mm) bedeckt. Sie stellten sozusagen die Nullreferenz ohne jegliche Beschichtung dar, da diese Bereiche den Auflageflächen auf dem Trailer entsprachen und somit zunächst nicht beschichtet worden waren (Abb. 108 und 109). Diese Rumpfbereiche wurden nachträglich gestrichen unmittelbar bevor das Boot zu Wasser gelassen wurde. Aus dem Bewuchsbild konnte geschlossen werden, dass die noch nicht ausgehärtete Beschichtung schlagartig ausgewaschen wurde, sodass an diesen Stellen keine Antifoulingbeschichtung vorhanden war. Zudem war das Schwert dicht mit Zebamuscheln bewachsen, da dieses nicht mit einer Antifoulingbeschichtung versehen und nicht gereinigt worden war (Abb. 110).



Abb. 108: Endinspektion am 07.11.2013, Sawatzki, Bewuchs auf den nicht beschichteten Flächen mit Schwämmen, Zebamuscheln und dichtem Biofilm.

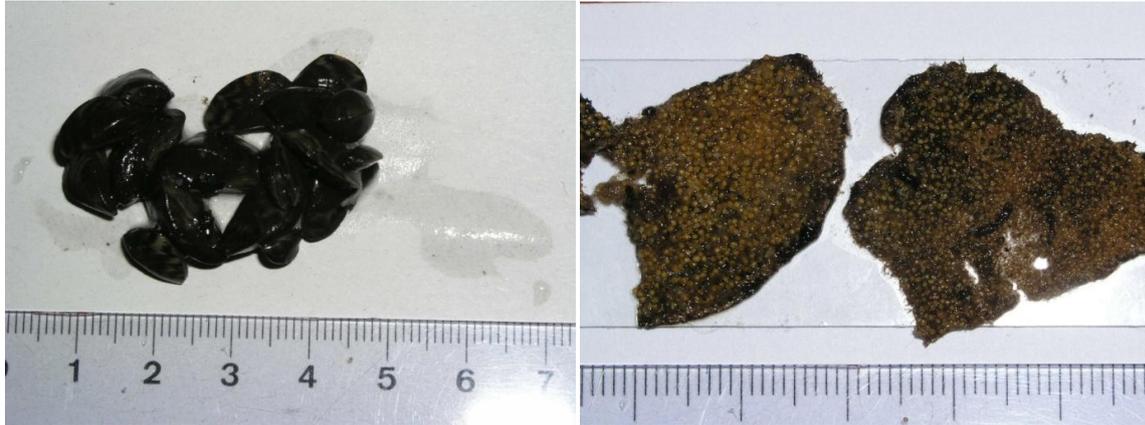


Abb. 109: Endinspektion am 07.11.2013, Sawatzki, links, Zebrauscheln von der unbeschichteten Rumpffläche in der Größenordnung 5 – 15 mm; rechts, Schwämme (unbestimmt) mit zahlreichen knospenförmigen Gemmulae (Dauerstadien).

Der Rumpf wurde mit einem Hochdruckwascher (150 bar) gereinigt. Der Makrobewuchs konnte problemlos entfernt werden. Der Biofilm blieb als dünner, bräunlicher Film in den zuvor unbeschichteten Bereichen haften (Abb. 111).



Abb. 110: Endinspektion am 07.11.2013, Schwert der Sawatzki mit Bewuchs aus Zebrauscheln, Brackwasserpolyphen und Biofilm.



Abb. 111: Endinspektion am 07.11.2013, Rumpf der Sawatzki nach der Reinigung mit Hochdruckwascher. Der Biofilm auf der unbeschichteten Fläche ist persistent

3.4.7 Motorboot „FN 1008“

Es handelt sich um ein Arbeitsboot des Hafens Ultramarin in Gohren am Bodensee, welches pro Tag mehrfach für ein bis zwei Stunden eingesetzt wird. Die Geschwindigkeit liegt bei maximal 2 kn. Der Rumpf des Bootes besteht aus Aluminium. Das Boot war vor 3 Jahren mit einer Antifoulingbeschichtung gestrichen worden, welche kaum noch vorhanden war.

Inspektion: 20.08.2013 mit einmaliger Reinigung

Das Boot wurde im April 2013 zu Wasser gelassen und am 20.08.2013 inspiziert und gereinigt. Der Bewuchs bestand aus einem schwarz-bräunlichen Biofilm und einigen fädigen Algen von wenigen Millimeter Länge. Die Reinigung erfolgte mit dem Tausendbein. Mit zwei Reinigungsgängen (Rumpf zum Heck und zurück) konnte das Boot innerhalb von 5 Minuten gereinigt werden. Trotz des Knickspants und der vorhandenen Kimmstringer konnte der Rumpf weitestgehend gereinigt werden. Dennoch konnten einige kleine Bereiche vom Tausendbein nicht erfasst werden (Abb. 112).



Abb. 112: Arbeitsboot FN1008, Ultramarin, Gohren, Inspektion 20.08.2013, nach der Reinigung mit dem Tausendbein.

Auch hier wurden zur Untersuchung der Gewässergüte TOC-Proben (vor und nach der Reinigung), eine Seston-Probe sowie eine definierte Menge Biomasse (s. Tab. 11 und 12) genommen.

3.4.8 Motorboot „Olli“

Das Boot war im Mai 2013 zu Wasser gelassen worden. Der Rumpf besteht aus GfK (glasfaserverstärktem Kunststoff) und war nicht beschichtet worden. An den Wochenenden wurde das Boot für 3 – 4 Stunden auf der Havel und ihren Nebengewässer bewegt. Die Geschwindigkeit betrug maximal 2 kn.

Inspektion: 27.08.2013

Die Inspektion und Reinigung erfolgt hier einmalig mit dem Tausendbein (TB) und dem Big Easy Cleaner (BEC).

Der Bewuchs bestand aus einem dichten, grünlichen Biofilm, welcher im vorderen Bereich mit dem BEC und im hinteren Rumpfbereich mit dem TB entfernt wurde. Die Reinigungen dauerten ca. drei Minuten. Der Bewuchs konnte bis auf einige Stellen im Wasserpass effektiv abgereinigt werden (Abb. 113). Die Handhabung des BEC war einfach und problemlos. Bei der Reinigung mit dem Tausendbein erwies sich der Wulst am Süllbord als hinderlich.



Abb. 113: Motorboot Olli bei der Inspektion am 27.08.2013 vor und nach der Reinigung.

Die Gewässergüte-Parameter wurden ebenfalls vom Motorboot „Olli“ genommen (s. Tab. 11 und 12).

3.4.9 Patrouillenboot „W16“

Es handelt sich um ein Patrouillenboot der Wasserschutzpolizei Niedersachsen, welches ursprünglich in Emden stationiert war und im Laufe des Jahres 2013 nach Hannover verlegt wurde. Vom 19.06. – 13.07.2013 lag das Schiff in Emden und war bis zum Ende des Jahres 2013 in Hannover stationiert. Es war im April 2013 zu Wasser gelassen worden und nach erneuter Dockung in Emden Ende Mai/ Anfang Juni mit einer reinigungsfähigen Spezialbeschichtung der Lackfabrik Wohler beschichtet worden (Abb. 114). Das Schiff wurde pro Woche 3 – 4 Stunden bewegt, die Geschwindigkeit lag bei maximal 16 kn, die Dienstgeschwindigkeit bei ca. 8 – 10 kn.



Abb. 114: W16 in der Werft in Emden, Entschichtung und Vorbehandlung zur Beschichtung mit der reinigungsfähigen Beschichtung CleanTec von Wohler.

Inspektion: 09.09.2013 mit einmaliger Reinigung

Die Inspektion und Reinigung erfolgte in Hannover am 09.09.2013 auf dem Gelände der Wasserschutzpolizei am Mittellandkanal. Es war deutlich zu erkennen, dass der Rumpf mit Skelettresten und Basalplatten der Brackwasserseepocke (*Balanus improvisus*) übersät war. Die Reinigung erfolgte mit dem Hulltimo Pro und dem Hulltimo Smart (Abb. 115). Der Reinigungsaufwand war erheblich und der

Reinigungsvorgang dauerte insgesamt 2 Stunden. Dennoch gelang es, den Rumpf fast vollständig durch mehrmalige Reinigungsvorgänge von dem Restbewuchs aus Seepocken zu befreien. Das Reinigungsgerät Hulltimo Pro erlaubte durch eine Kamera am Roboter eine Inspektion des Bewuchses und des Reinigungserfolgs (Abb. 116). Hierdurch konnte gewährleistet werden, dass die Reinigungsvorgänge so oft wiederholt werden konnten, bis der Bewuchs vollständig entfernt war. Das Display an der Fernbedienung zeigte sowohl die Reinigungsaktivität und Orientierung des Roboters am Rumpf als auch den Reinigungserfolg. Die Heckbereiche, die durch ihre Dimensionierung für den Hulltimo Pro zu klein waren, konnten mit dem Hulltimo Smart gereinigt werden (Abb. 117).

Die Steuerung und Positionierung des Hulltimo Pro erfordert ein intensives Training sowie Erfahrung. Der Hulltimo Smart war dagegen sehr einfach zu bedienen und bedurfte keiner vorherigen Einarbeitung oder eines Trainings.



Abb. 115: Reinigung der W16 mit dem Hulltimo Pro.

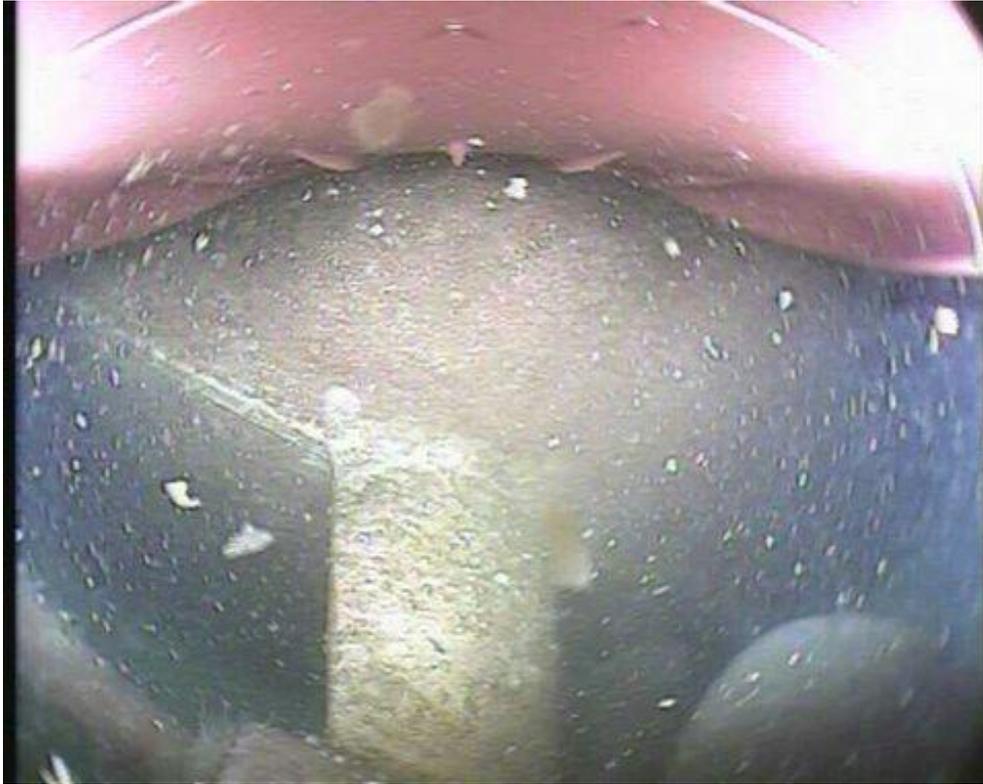


Abb. 116: Unterwasseraufnahme der Kamera des Hulltimo Pro zur Inspektion des Unterwasserschiffs.

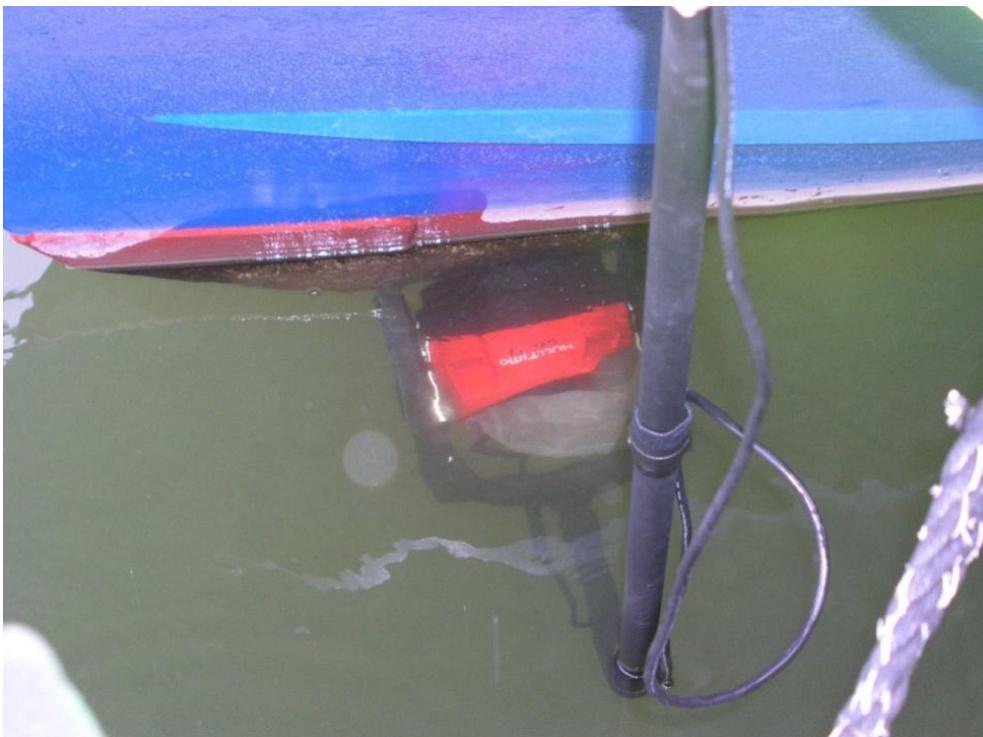


Abb. 117: Einsatz des handgeführten Hulltimo Smart mit Teleskopstange.

Die Gewässergüte-Untersuchungen zur W16 sind in den Tabellen 11 und 12 dargestellt.

3.5 Ergebnisse zur Gewässergüte

Um die bei einer Rumpfreinigung im Wasser entstehende Gewässerbelastung abzuschätzen, wurden verschiedene Wasserparameter wie BSB₅, TOC (Total Organic Carbon), Seston und Leitfähigkeit vor und nach der Reinigung bestimmt (Tab. 11 und 12). Die Bestimmung dieser Parameter erfolgte bis auf die Sestonbestimmung im Institut für Hygiene und Umwelt, Abteilung Wasseruntersuchungen, Hamburg nach folgenden Methoden:

- TOC: DIN EN 1484 H3 von Aug 1997
- BSB: DIN EN 1899-1 H51 von Mai 1998

Das Seston wurde von LimnoMar mit Hilfe einer Vakuumpumpe aufgefangen und als Trockengewicht ausgewogen. Wie aus den beiden Tabellen ersichtlich ist, stellte die Belastung des Wasserkörpers eine kaum messbare oder feststellbare Belastung dar, wenn im Stadium der Biofilmformation, also des sogenannten Mikrofoulings gereinigt wird. Wie sich an dem Boot „Windsbraut“ zeigte, sind die Verhältnisse bei entwickeltem Makrobewuchs aber völlig anders einzuschätzen und führten zu einer erheblichen Belastung, wenn ohne Auffangvorrichtung im Wasser gereinigt wurde. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass zumindest die Abreinigung von Biofilmen keine signifikante Belastung des Wasserkörpers darstellt.

Tab. 11 : TOC, BSB, Leitfähigkeit, Seston, Trockengewicht Bewuchs pro m², Trockengewicht Bewuchs pro Unterwasserfläche. Angaben jeweils vor (v) und nach (n) der Reinigung; n.b. = nicht beprobt

Schiff	Datum (2013)	TOC		BSB ₇		Leitfähigkeit		Seston		TG/ Bewuchs [kg/m ²]	TG Bewuchs [kg/UWFI]
		v	n	v	n	v	n	v	n		
W16	09.09.	6,4	6,0	2,6	2,2	813	816	0,01	0,03	0,02	2,89
Frisia VIII	13.08.	4,7	4,5	n.b.		n.b.		0,06	0,07	0,05	0,412
Beluga II	07.10	2,7	3,1	1,0	0,9	n.b.		0,01	0,01	0,02	2,10
MB FN 1008	28.08.	1,9	1,9	2,9	2,4	417	252	0	0,01	0,002	0,36
MB Olli	28.08.	16	22	10,6	10,2	643	635	0,005	0,05	0,003	0,47
MB Manni	02.09.	8,6	9,7	1,7/2,3		n.b.		0,01	0,02	n.b.	n.b.
SB Windsbraut	25.08.	n.b.		3,4/2,1*		n.b.		0,04	0,15	2,89	68,89
SB Skippi	27.08.	n.b.		n.b.		n.b.		n.b.		0,04	3,57

*BSB₅

Tab. 12: Bewuchsgewichte bezogen auf 1 m² und Gesamt-Unterwasserfläche der jeweiligen Schiffe

Boot/ Hafen	Länge [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]	Unterwasserfläche [m ²]	Trockengewicht [g/m ²]	Trockengewicht UWFI [kg]
Frisia VIII	3,00	3,00	1,00	9,00	45,8	0,412
Beluga II	28,0	5,60	1,60	131,04	16,0	2,10
SB Windsb.	9,50	3,00	0,50	18,20	3.785,00	68,89
MB FN1008 Ultramarin	2,50	1,00	0,20	1,80	2,0	0,36
MB Olli Berlin	2,20	1,20	0,20	1,80	2,6	0,47
W16 Hannover	9,95	2,80	0,90	19,76	14,6	2,89
SB Skippi Makowski	6,50	2,48	1,45	10,21	35,0	3,57

4 Diskussion

4.1 Versuche 2012

4.1.1 Reinigungsgeräte

Der wichtigste Aspekt für die Beurteilung der Reinigungsgeräte war die Effektivität der Reinigung. Weiterhin bestand eine Anforderung darin, ob die Geräte mit einer Auffangvorrichtung für den entfernten Bewuchs ausgerüstet werden könnten und wie effektiv diese arbeiten würden. Neben diesen festen Vorgaben gab es eine Vielzahl weiterer Aspekte, die für die Praktikabilität und Marktfähigkeit der Geräte von Bedeutung sein werden. Diesen ist das Kapitel *Praktikabilität und Marktfähigkeit* gewidmet.

4.1.2 Reinigungsleistung

Die Beurteilung der Unterschiede in der Reinigungsleistung wird erschwert durch die Tatsache, dass im bewuchsschwachen limnischen Milieu alle Reinigungsgeräte gute bis sehr gute Arbeit geleistet haben und gleichzeitig alle Geräte im bewuchsstarken marinen Milieu den Bewuchs nicht ausreichend entfernen konnten.

Bei Betrachtung der Reinigungsleistung steht der **Caviblast** an erster Stelle. Mit dem Caviblast kann auch noch größerer, fest haftender Bewuchs entfernt werden. Dabei wird der Bewuchs nicht in einem Schritt von der Oberfläche entfernt, sondern die Organismen in mehreren Schritten zerstört und entfernt. Der Zeitaufwand von fünf Minuten oder mehr für die Reinigung der Platten von einem halben Quadratmeter war entsprechend hoch. Reste der Bewuchsorganismen, insbesondere der kalkhaltigen Basalplatten von Seepocken, fanden sich dennoch vereinzelt auch nach der Reinigung auf den Beschichtungen. Im Prinzip kann aber kein Organismus dieser Reinigungs-Methode widerstehen.

Ein deutlich weniger aufwendiges Gerät, das im Süßwasser sehr gute und im Meerwasser lange Zeit auch recht gute Ergebnisse geliefert hat, ist der **Big Easy Cleaner (BEC)**. Im Gegensatz zu den Bürstensystemen arbeitet der BEC mit einem Reinigungsvlies, vergleichbar mit einem „Scotch Pritt“ aus der Küche. Diese Oberfläche lässt sich fester andrücken als Borsten, und sie kann somit auch noch Bewuchs entfernen, den die Bürsten nicht mehr angreifen können. Der Anpressdruck

an den Schiffsrumpf ist sehr hoch und macht die Anwendung komfortabler als mit den Bürstensystemen in diesem Test. Einzig die elastischen Grünalgen bereiten Probleme und natürlich die hartschaligen Organismen wie Seepocken, Muscheln und Austern ab einer gewissen Größe.

Die **Beckmann Bürste** ist ein sehr einfaches System, das für den Gartenbereich entwickelt wurde. Dennoch konnten hiermit im Süßwasser bei geringem Bewuchsdruck gute bis sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Auch bei nur drei Reinigungen pro Saison konnte die Beckmann Bürste den Bewuchs im Norder Tief nahezu vollständig entfernen. Im Meerwasser ist diese Methode ungeeignet und in bewuchsstärkeren Süßgewässern müsste sicherheitshalber ein kürzeres Reinigungsintervall eingehalten werden.

Der **Scrubmarine** ist im Prinzip ein anderes Bürstensystem, das gleichzeitig einen Absaugschlauch im Bürstenkopf enthält, der auch für einen Anpressdruck sorgen soll. Da der Anpressdruck unzureichend war, wurde mit diesem unhandlichen Bürstenkopf nur mit Muskelkraft gearbeitet. Die Reinigungsleistung ist vergleichbar mit der Beckmann Bürste, allerdings mit größeren Schwierigkeiten in unzugänglichen Rumpfbereichen.

Der **Kärcher Hochdruckreiniger** ist das einzige System im Test, das mit Wasserdruck arbeitet. Sowohl im Sportbootsektor als auch in der Berufsschiffahrt sind diese Geräte das Standardmittel, um den Rumpf außerhalb des Wassers zu reinigen. Das Problem dieses Systems liegt darin, dass der Wasserdruck bei einem Einsatz unter Wasser schon in geringem Abstand zur Spritzdüse stark abnimmt. Und so ist es nicht verwunderlich, dass die Platten mit dem Kärcher Hochdruckreiniger sowohl im Meer- als auch im Süßwasser nicht zufriedenstellend gereinigt werden konnten. Dabei erwies sich der Bürstenkopf von Kärcher wegen der sehr weichen Borsten noch weniger geeignet als die Düsen. Den besten Erfolg erzielte die Dreckfräse, allerdings war es erforderlich, den Abstand zur Oberfläche minimal zu halten. Diese Methode war nicht nur körperlich anstrengend, weil gegen den Wasserdruck gearbeitet werden musste, sondern führte auch dazu, dass an verschiedenen Stellen der Oberfläche gekratzt wurde, was auf Dauer weder für die Oberfläche noch für das Gerät gut sein dürfte.

4.1.3 Auffangvorrichtung

Wie im Ergebnisteil beschrieben, sind die Auffangvorrichtungen der mobilen Reinigungsgeräte noch nicht ausgereift. Sie befinden sich noch in der jüngsten Entwicklungsphase und lassen sich noch deutlich verbessern. Für die wirksamen und Erfolg versprechenden Geräte sollte dies der nächste Entwicklungsschritt sein. Dennoch zeigen die ersten Erfahrungen, dass es sehr schwierig ist, Biofilme bzw. Mikrofouling aufzufangen, da dieses nach dem Entfernen von der Oberfläche als Schwebstoffwolke rasch verdriftet wird und dadurch kaum aufzufangen ist. Große Mengen an Biomasse fallen hierbei nicht an, wenn die Reinigung, um erfolgreich zu sein, zu einem sehr frühen Zeitpunkt der Bewuchsbildung erfolgt. Dennoch wird es für mobile Geräte kaum möglich sein, auch diese geringen Bewuchsmengen vollständig aufzufangen. Möglicherweise sollte in diesem Zusammenhang bei den mobilen Kleingeräten über andere Vorschriften nachgedacht werden als bei stationären Großanlagen.

4.1.4 Praktikabilität und Marktfähigkeit

Die **Beckmann Bürste** wurde in puncto Preis, Handhabung und Anwendung positiv bewertet. Es ist lediglich ein Wasseranschluss mit einem Druck von 1 bar notwendig. Diese sind aber in den Sportboothäfen reichlich vorhanden.

Ähnlich positiv verhält es sich beim **Big Easy Cleaner**, der keinen Wasseranschluss benötigt. Beide Systeme haben allerdings den kleinen Nachteil, dass sie nur bedingt in verwinkelten Ecken reinigen können und abgesperrte Seekästen, Bugstrahlentunnel etc. gar nicht erreichen können. Gleiches gilt für den **Scrubmarine**. Dieser hat aber zahlreiche zusätzliche Nachteile: Das Gerät ist so groß und schwer, dass es kaum jemand ständig an Bord mitführen wird. Es kommt also nur als Service in Marinas in Frage. Darüber hinaus waren Aufbau und Anwendung auch so aufwendig, anstrengend und laut, dass es in Verbindung mit der mangelnden Reinigungsleistung und dem hohen Preis eher keine Alternative darstellt. Einen **Kärcher Hochdruckreiniger** wird sicherlich auch niemand an Bord mitführen wollen. Als Reinigungsstation in einer Marina wäre ein Gerät denkbar. Dort ist allerdings die hohe Geräuschkulisse zu berücksichtigen. Wenn viele Boote 14-tägig gereinigt werden müssen, wäre dies eine unerwünschte Lärmbelastung. In Tabelle 13 wurde der Versuch unternommen, die Informationen zusammenzufassen und zu gewichten.

Tab. 13: Zusammenfassung der wichtigsten Parameter der Reinigungsgeräte

- = sehr nachteilig
- = nachteilig
- 0 = neutral
- + = vorteilhaft
- ++ = sehr vorteilhaft

	Reinigungsgeräte				
	Beckmann Bürste	Big Easy Cleaner	Scrub- marine	Kärcher	Cavi- blaster
Reinigungseffektivität marin	--	--	--	-	+
Reinigungseffektivität limnisch	+	+	+	0	++
Auffangvorrichtung	--	-	-	--	--
Stromanschluss notwendig	0	0	-	-	-
Wasseranschluss notwendig	-	0	0	-	0
Gewicht / Ausmaße	0	0	-	-	--
Aufbau	+	+	-	-	--
Körperliche Belastung	0	0	--	--	0
Lautstärke	0	0	-	--	--
Dauer	0	0	0	-	-
Unzugängliche Bereiche	-	-	--	+	++
Kosten	++	+	-	0	--
SUMME	-2	-1	-11	-10	-7

4.1.5 Beschichtungen

Der Unterschied zwischen den beiden getesteten Beschichtungen **Panadur** und **WEST System Epoxy mit Additiven** in 2012 war gering. Aus den Werten des Fouling Ratings ließ sich kein Trend ablesen, welche Beschichtung besser gereinigt werden konnte. Durch das glattere Oberflächenfinish wies die WEST-Beschichtung anfänglich weniger vereinzelte Rückstände auf und schnitt unter dem Strich etwas besser ab (Abb. 118). Die Bewuchszusammensetzung u.a. mit Bryozoen deutete außerdem auf einen schwachen hydrophoben Antihafteffekt bei dieser Beschichtung hin, möglicherweise ausgelöst durch die Additive von BYK. Auf beiden Beschichtungen hafteten größere Seepocken aber so fest, dass sie von keinem Reinigungsgerät rückstandslos entfernt werden konnten. Dies ist nur bei sehr effektiven Antihaftbeschichtungen basierend auf Silikon der Fall. Vergleichsweise wurden auch zwei Testplatten der Firma Wohler im Projektaustausch ausgelagert. Auch diese ließen sich relativ leicht abreinigen, was auf einen gewissen Antihafteffekt hindeutet.

Wahrscheinlich besteht in dem Bereich der Beschichtungen noch ein großes Verbesserungspotential, wenn Beschichtungen ganz gezielt an eine Reinigungsmethode angepasst werden. Für die Beschichtungsentwickler besteht die Gratwanderung darin, die Beschichtung so „antihaftend“ wie möglich und so beständig wie nötig zu machen. In jüngster Zeit setzen viele Entwickler nicht mehr auf Beschichtungen, die flüssig per Rolle oder Sprühpistole aufgetragen werden, sondern auf Folien, die auf den Rumpf geklebt werden sollen. Der Vorteil besteht darin, dass diesen Folien unter Laborbedingungen auf der einen Seite die gewünschten Antihafteigenschaften verliehen werden können, während die andere, später auf den Rumpf klebende Seite gezielt haftfähig gemacht werden kann.

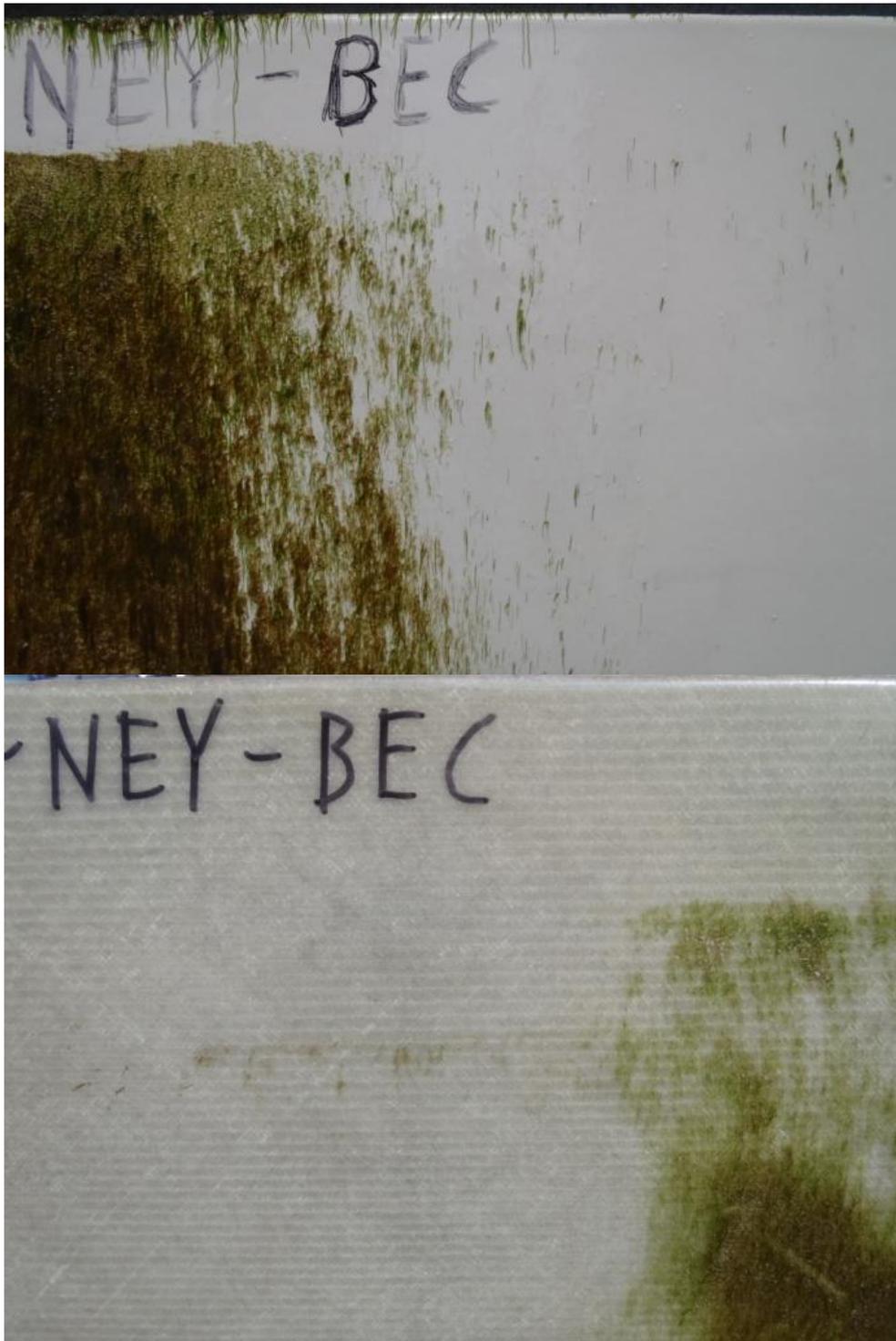


Abb. 118: Nahaufnahmen beider Beschichtungen nach halbseitiger Reinigung mit dem Big Easy Cleaner (oben Panadur, unten WEST SYSTEM mit BYK Additiv).

4.2 Versuche 2013

4.2.1 Rumpfreinigungen

Die Rumpfreinigungen der Boote in 2013 zeigten drastisch die Unterschiede von Süß- wasser- und Seewasserbewuchs. Zudem zeigten sich auch im Süßwasser deutliche Unterschiede hinsichtlich des Bewuchsdrucks und der damit verbundenen Frequenz der notwendigen Reinigungen. Die Bewuchsentwicklung auf den Booten in Berlin, im Bodensee und teilweise auch in der Alster zeigte, dass es vornehmlich zu einer Biofilmbildung kommt, die mit einfachem Aufwand abzureinigen war.

Größere Probleme können im Süßwasser in Revieren auftreten, in denen dichte Populationen von Zebrauscheln vorkommen, und - wie aus früheren Versuchen bekannt (s.a. www.bewuchs-atlas.de) - in kalkhaltigen Gewässern, in denen ansitzende Bakterien und Algen kalkartige Krusten ausscheiden. Auch in Binnengewässern kann aber auf eine wöchentliche oder zweiwöchentliche Kontrolle der Bewuchsentwicklung nicht verzichtet werden, um eine einfache Reinigung zu ermöglichen und nicht in ein Stadium zu gelangen, in dem das Boot aus dem Wasser genommen werden müsste, um den Bewuchs mit einem Hochdruckwascher zu entfernen. Diese Notlösung wäre im Süßwasser auch bei Überschreiten des Bewuchses über das Biofilmstadium hinaus im Gegensatz zum Salzwasser immer möglich.

Bei den angeführten Kontrollintervallen kann im Süßwasser mit Reinigungsabständen von bis zu vier Wochen gerechnet werden.

Im Gegensatz dazu muss bei der Geschwindigkeit und Üppigkeit der Bewuchsentwicklung im Salzwasser ein Reinigungsintervall von ein bis zwei Wochen angenommen werden, wie eigene Untersuchungen (Daehne et al. 2012) an der Nordseeküste gezeigt haben. Aber auch in anderen Meeresgebieten wie der Westküste der USA wurde festgestellt, dass mit diesen sehr kurzen Intervallen gerechnet werden muss (Culver & Johnson, 2012).

Eine gewisse Überraschung stellte der Einsatz des Tauchers dar, der in relativ kurzer Zeit ohne langwierige Vorbereitungen sogar den üppigen Makrobewuchs auf der Windsbraut entfernen konnte, was sonst nur dem Caviblaster gelang. Die Reinigung durch Taucher ist an der US-Pazifikküste gängige Praxis und wird dort sowohl auf biozidhaltigen Antifoulingbeschichtungen praktiziert als auch in einem langjährigen

Forschungsprojekt der Universität von San Diego untersucht (cit. op.). Die Reinigung hat sich an dieser Küste zu einem festen, berufsmäßig ausgeübten Service entwickelt, der besonders in kalifornischen Häfen angeboten wird.

Bisher ungelöste Probleme bereiten aber nach wie vor die Tatsachen, dass erstens bisher keine praktikablen Tools für eine Bewuchskontrolle zur Verfügung stehen und zweitens die Bewuchskontrollen einen hohen zeitlichen Einsatz erfordern. Leider kann kein genereller Zeitplan pro Region oder Hafen aufgestellt werden, in dem die optimalen Zeitpunkte zur Reinigung angegeben werden könnten. Wie die Versuche an der Alster mit drei unterschiedlichen Booten an drei unterschiedlichen Liegeplätzen gezeigt haben, ist die Bewuchsentwicklung immer auch vom Boots-/Rumpftyp und vom Liegeplatz abhängig.

Diese Beobachtung wird vielfach gemacht und ist unter Bootseignern wohlbekannt. Konsequenterweise folgt hieraus eine Notwendigkeit zur Entwicklung eines Bewuchssensors, geeigneten optischen Kontrollinstrumenten oder anderen Verfahren zur Erfassung der Bewuchsentwicklung am Liegeplatz.

Zur Kontrolle des Bewuchses an der Beluga II wurden drei verschiedene optische Systeme getestet, die aus den Bereichen des Sanitärhandwerks, der Kontrolle von Sielen und Kühlwassereinläufen sowie von Propellern und Rudern an größeren Schiffen eingesetzt werden. Wirklich aussagekräftige Bilder lieferte bei diesen Versuchen nur eine hochprofessionelle Kamera, welche in der Anschaffung mit ca. 40.000,- € zu veranschlagen ist oder für ca. 800,- bis 1.000,- € pro Tag mit Techniker angemietet werden kann.

Es ist offensichtlich, dass diese Kosten für Marinas oder Eigner nicht aufzubringen sind. Eine andere, weitaus aussichtsreichere Perspektive ergibt sich durch Kameras, die im Wassersport angeboten werden und auch als Seewasser beständige Variante für 250,- - 300,- € erworben werden können. Wenn diese Kameras an einen Teleskopstab montiert werden, könnte mit ihnen relativ einfach und kostengünstig eine wöchentliche bis zweiwöchige Rumpfkontrolle durchgeführt werden.

Da die meisten Eigner nicht in diesen kurzen Intervallen ihr Boot besichtigen, müssten diese Kontrollen vom Hafenmeister des Vereins oder der Marina durchgeführt werden.

Hierbei ist der Zeitaufwand in größeren Häfen nicht zu unterschätzen, und z.B. für die Segelschule, bei der die Versuche an der Alster durchgeführt wurden, schien der

Aufwand für die Bewuchskontrolle und Reinigung als zu hoch, um sie regelmäßig durch die Segellehrer durchführen zu können.

Ein entscheidender Aspekt in der Akzeptanz einer Reinigung als Bewuchsschutzalternative wird der Zeitaufwand durch den Eigner oder durch das Hafenspersonal sein.

Die Praxis mit biozidhaltigen Anstrichen unterscheidet sich erheblich von einer Praxis mit biozidfreien Beschichtungen in Kombination mit Reinigung.

Arbeitsschritte mit biozidhaltiger Antifoulingbeschichtung:

- Hochdruckwaschen des Rumpfes am Ende der Saison
- An - oder Abschleifen der Antifoulingbeschichtung im Winterlager
- Jährlicher oder zweijährlicher Neuauftrag der AF-Beschichtung
- Keine weiteren Arbeiten in der Saison falls AF effektiv
- Eventuell Kontrolle bei Versagen der AF, Kranen und Waschen des Rumpfes

Arbeitsschritte bei Einsatz einer reinigungsfähigen Hartbeschichtung mit Reinigung:

- Hochdruckwaschen des Rumpfes am Ende der Saison
- Dreijähriger bis fünfjähriger Neuauftrag der Hartbeschichtung
- Wöchentliche bis zweiwöchentliche Bewuchskontrolle (15 Min.)
- Vierwöchentliche bis achtwöchentliche Reinigung des Rumpfes (15 – 20 Min.)

Aus dieser Aufstellung wird deutlich, dass sich der erforderliche Arbeitsaufwand von der Winterarbeit zur Sommerkontrolle und zur Reinigung verschiebt. Die Ersparnis in der Winterarbeit wird wahrscheinlich von vielen Eignern nicht als Entlastung empfunden, sondern die sommerlichen Kontrollen als belastend bis unmöglich eingeschätzt. Manche Eigner kommen ein bis zweimal pro Saison an ihren Liegeplatz.

In der Konsequenz bedeutet dieses, dass eine Reinigung als Bewuchsschutzalternative ein erhebliches Umdenken und neuartige Praxis mit sich bringen muss. In kleineren Vereinen mit hoher Präsenz der Mitglieder im Hafen oder in Marinas mit umfangreichem Service durch die Hafenmeister könnte aus heutiger Sicht am leichtesten eine Reinigungspraxis umzusetzen sein.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass an der Nord-Ost-Küste von Schweden sich mittlerweile ca. 15 Reinigungsstationen etabliert haben, an denen vor

allem Motorbootfahrer, aber auch Segler ihre Boote reinigen lassen und sich offenbar auf den verstärkten persönlichen Einsatz eingestellt haben (www.boatwasher.se).

4.2.2 Eignung der Reinigungstechniken für unterschiedliche Boots-/ Schiffstypen

Die Bootsversuche zeigten erhebliche Unterschiede in der Eignung der eingesetzten Tools für unterschiedliche Bootstypen und Rumpfformen. Und viele Bootsrümpfe erwiesen sich in der Praxis sogar als ungeeignet für alle Geräte. Die Abbildungen 119 und 120 zeigen eine schematisierte Auswahl von unterschiedlichen Rumpfformen. In der Realität sind die Formen noch weitaus vielfältiger und kaum ein Rumpf gleicht dem anderen. Besonders problematisch sind die Motorboote mit Kimmstringern (Abb. 121), aber auch alle Kielschiffe sind problematisch und auch alle Rümpfe mit S-Profil (ederscher DG-Rumpf und tillersche Wellenbinder) oder auch Stabilisatoren an den Seiten (Abb. 122).

Der *Big Easy Cleaner (BEC)* eignet sich nicht für die Vertikalbereiche von Rümpfen und somit nicht für Boote mit Kiel oder senkrechter Bordwand. Rundspanter wie z.B. die Jollenkreuzer sind dagegen ideal für die Segelbootvariante des BEC, und für Motorboote mit Kimmstringern (= Längsspanten) steht die Motorbootsversion mit Bürsten zur Verfügung, sofern sie keinen „Überstand“ (Abb. 123) haben.

Das *Tausendbein* eignet sich auf Grund seiner Eigenschaften nur für Knick- oder Rundspanter ohne Kiel oder mit aufholbarem Schwert. Eine außen liegende Welle von Innenbordmotoren verhindert aber eine Reinigung im Heckbereich (Abb. 123). Hier könnte dann zusätzlich der BEC eingesetzt werden.

Der *Hulltimo Smart* ist das Gerät mit dem größten Einsatzspektrum (Abb. 124). Es kann im Gegensatz zum BEC auch vertikale Bereiche reinigen und im Gegensatz zum Tausendbein auch den Bereich zwischen Welle und Flachboden erreichen.

Der *Hulltimo Pro* ist nur für größere Boote ab 10 m Länge oder auch bei kleineren Schiffen bis zu 20 oder 30 m interessant. Er kann prinzipiell auf allen Rumpfformen eingesetzt werden, nicht aber auf Motorbooten mit Kimmstringern.

Die Ausnahmen waren der Caviblaste und der Taucher mit Spachtel. Mit diesen Methoden können alle Rümpfe gereinigt werden: Der *Caviblaste* ist eindeutig ein Tool für größere Schiffe inklusive deren Propeller. Da die Vorbereitungen zu seinem

Einsatz sehr aufwendig sind, dürfte er nur für größere Schiffe von Rumpflängen von 20m und mehr in Frage kommen.

Der „Testsieger“ im bewuchsstarken Meerwasser war der Taucher, der den Rumpf von Hand mit einem Spachtel abreinigt. Er konnte Rumpf, Ruder und Propeller in der kürzesten Zeit am gründlichsten reinigen und kann dies auch auf allen Rumpfformen.

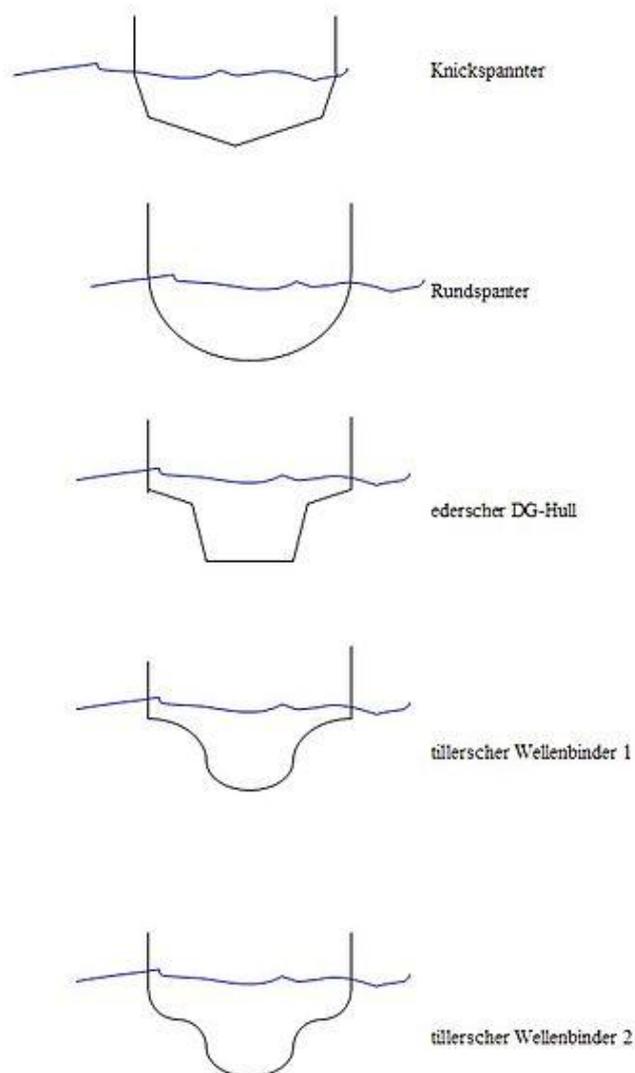


Abb. 119: Verschiedene Hauptspanntypen von Segel- und Motorbootrümpfen (Quelle: Wikipedia).

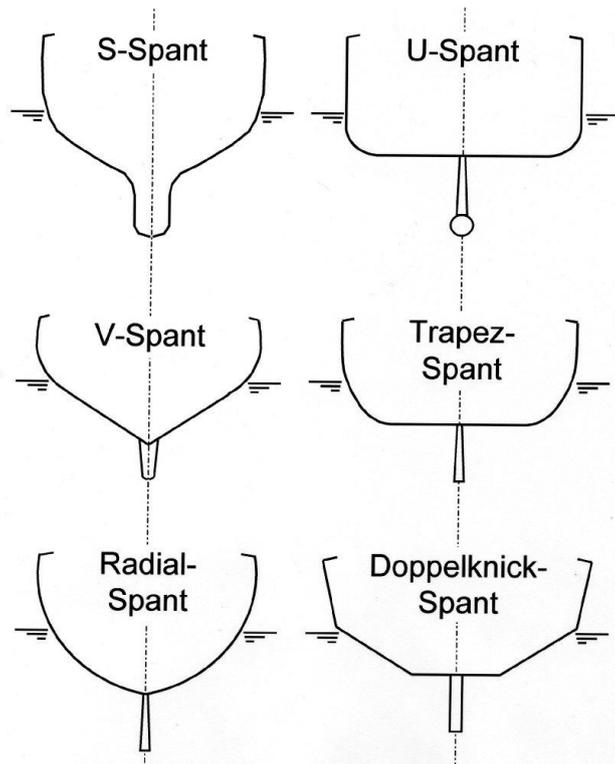


Abb. 120: Verschiedene Spantentypen von Kielschiffen (Quelle: Wikipedia).



Abb. 121: Typische Kimmstringer an einem Motorboot verhindern die Reinigung mit dem Tausendbein.



Abb. 122: Stabilisatoren unter der Wasserlinie verhindern eine Reinigung.



Abb. 123: Motorboot mit „Überstand“ und Kimmstringern. Der Überstand unter der Wasserlinie verhindert auch die Reinigung mit der Motorbootvariante des BEC.



Abb. 124: Außen liegende Wellen z.B. bei Jollenkreuzern verhindern die Reinigung mittels Tausendbein im Heckbereich. Hier könnte alternativ oder zusätzlich der BEC eingesetzt werden, um den Bereich über der Welle zu reinigen.

Der Anteil potentiell reinigungsfähiger Bootsrümpfe konnte exemplarisch im Winterlager des Seglervereins Norderney erhoben werden. Dabei wurde deutlich, dass etwa die Hälfte der Segelboote, aber nur ein Zehntel der Motorboote eine Rumpfform aufweisen, die mit den vorhandenen Methoden im Wasser gereinigt werden kann (Abb. 125).

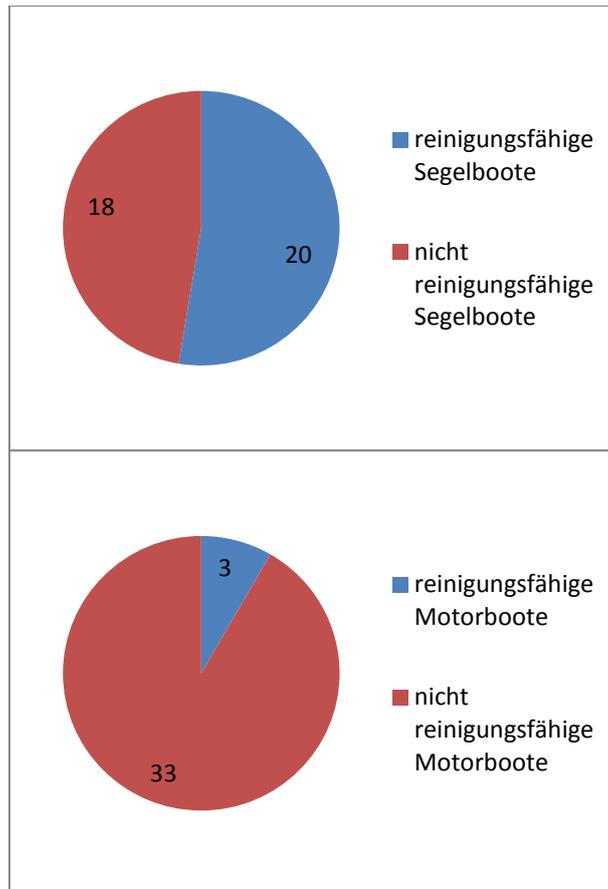


Abb. 125: Anteile reingungsfähiger und nicht reingungsfähiger Segelboot, oben und Motorboote, unten am Beispiel des Seglervereins Norderney (2014).

Im zweiten Schritt wurde abgeschätzt, mit welchen Geräten die Rümpfe gereinigt werden könnten. Dabei erwies sich der Hulltimo Smart als universell einsetzbares Gerät, gefolgt vom Big Easy Cleaner (BEC). Das Tausendbein schied auf Motorbooten wegen der Kimmstringer weitgehend aus und war auf Segelbooten auch nur einsetzbar, wenn der Rumpf keinen Kiel und keine Welle hatte (Abb. 126). Auf den geeigneten Schiffstypen wie Jollenkreuzern oder anderen Rundspantern mit Außenbordmotor ist das Tausendbein aber vermutlich das schnellste und effektivste Gerät.

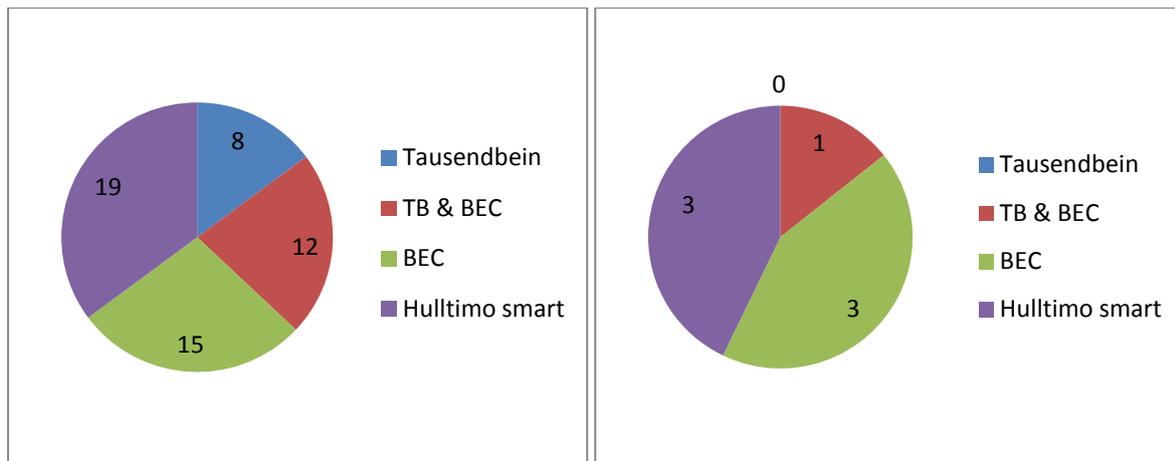


Abb. 126: Anteile geeigneter Reinigungsgeräte für die reinigungsfähigen Segelboote, links und Motorboote, rechts am Beispiel des Seglervereins Norderney (2014 – Mehrfachnennungen möglich).

4.2.3 Gewässerbelastung durch Rumpfreinigung

Bei der Reinigung von Boots- oder Schiffsrümpfen im Wasser müssen die jeweiligen wasserrechtlichen Rahmenbedingungen beachtet werden.

Relevant sind in diesem Zusammenhang internationale Vorschriften und Vereinbarungen wie die EU-Wasser-Rahmen-Richtlinie, die EU-Industrieemissions-Richtlinie mit den Referenzdokumenten der „Besten verfügbaren Techniken – BVT“ sowie multilaterale Abkommen z.B. zum Schutz der Elbe, des Rheins oder des Bodensees. Hinsichtlich der bundesrechtlichen Vorschriften kommt hier das Wasserhaushaltsgesetz zur Anwendung unter den Stichpunkten:

- Allgemeine Sorgfaltspflicht (§ 5 „Vermeidung nachteiliger Veränderungen“)
- Erlaubnispflicht für Benutzungen (§§ 8 und 9 Einbringen von Stoffen“)
- Erlaubnisfreie Benutzungen (§§ 25, 25 und 43 „Einbringen von anderen Stoffen in Küstengewässer ohne signifikant nachteilige Veränderungen“)
- Bewirtschaftungsziele (§§ 27 und 44 „Verschlechterungsverbot und Herstellung des guten Zustands bzw. des guten ökologischen Potentials“)
- Reinhaltung der Gewässer (§§ 32 und 45 „Einbringungsverbot fester Stoffe zur Entledigung“)

In diesem Zusammenhang ist darauf hin zu weisen, dass es sich bei einer Rumpfreinigung im Wasser eher um eine „Umlagerung“ des abgereinigten Bewuchses als um eine Einbringung handelt. Dieser Aspekt wäre juristisch noch zu prüfen.

Auf Landes- und kommunalrechtlicher Ebene werden für die Beurteilung einer Reinigungspraxis das jeweilige Landeswassergesetz, die Hafenverordnungen, die Hafenbenutzungsordnungen und die Abwassersatzungen zur Geltung kommen. Für die Zulassung von Reinigungsmaßnahmen im Wasser wird nach dem Wasserhaushaltsgesetz zudem der Stand der Technik maßgebend sein. Dieses bedeutet, dass die Anwendung von Verfahren, die eine Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt gewährleisten, als Voraussetzung für eine wasserbehördliche Zulassung vorgeschrieben werden können. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind neben anderen folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Einsatz weniger gefährlicher Stoffe, hier Vermeidung biozidhaltiger Antifoulingsysteme
- Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für den Menschen und die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern.

Zur Beurteilung des Standes der Technik sind branchenspezifische Mindestanforderungen zu beachten, welche in den Anhängen der Abwasserverordnung aufgeführt werden. Der Anhang 30 zur Abwasserverordnung, der bisher nur im Entwurf vorliegt, beschäftigt sich mit Abwasser aus Reinigungs-, Konservierungs- und Instandhaltungs/-setzungsarbeiten sowie Neubau und Verwertung von Wasserfahrzeugen. Hierbei sollen neben Werften der Großschifffahrt auch explizit Sportboothäfen einbezogen werden. Der Anwendungsbereich des Anhangs 30 soll sich auf Reinigungs- oder Konservierungsarbeiten der Außenhaut des Unterwasserschiffes beziehen, wobei hier Arbeiten über Wasser bisher im Fokus standen. Konsequenterweise ist unter den allgemeinen Anforderungen daher auch die weitestgehende Aufnahme von Rückständen aus Reinigungs-, Reparatur- und Konservierungsarbeiten aufgeführt. In diesem Zusammenhang sind die vom Umweltbundesamt veröffentlichten (B/L-AG, 2011) Hinweise und Erläuterungen zum Anhang 30 interessant. Dort werden mechanische Methoden zur Rumpfreinigung aufgeführt, die auf eine Unterwasserreinigung abzielen und den positiven Umwelteffekt des Verzichts auf Antifoulingbiozide benennen. Die Anwendbarkeit wird für Schiffe in Brack- und Süßwasser angegeben, wobei als Nachteil die möglicherweise kurzen Reinigungsintervalle und die Verschleppung fremder Arten angegeben werden (Janson, 2011).

Wie aus der aufgeführten Übersicht erkennbar ist, scheint es für die Reinigung im Wasser bisher nur sehr wenige Vorschriften zu geben, die speziell auf die dadurch hervorgerufene Gewässerbelastung abzielen. Dennoch wird für eine zukünftige Bewuchsverhinderung durch frühzeitige Reinigung im Biofilmstadium zu prüfen sein, welche gesetzgeberischen Auflagen erteilt werden können und sollten. Im vorliegenden Projekt wurden ursprünglich solche Methoden bevorzugt eingesetzt, bei denen theoretisch der abgereinigte Bewuchs aufgefangen werden konnte. Verschiedene Reinigungstools waren daher von vorne herein (Hulltimo Pro/ Smart) oder speziell für das Forschungsprojekt mit Auffangvorrichtungen für den abgereinigten Bewuchs ausgerüstet worden (BEC, Beckmann-Bürste). Während der Reinigungsversuche wurde aber festgestellt, dass abgereinigte Biofilme durch ihre feine, partikuläre Zusammensetzung mit Netzen von Maschenweiten im Millimeterbereich nicht aufgefangen werden können. Während der Reinigungen bildeten sich Wolken aus abgelösten Biofilmen, die unmittelbar verdriftet wurden und sich optisch rasch auflösten. Um diese Schwebstoffwolken aufzufangen, wären Planktonnetze mit Maschenweiten von 50 -100 µm notwendig, welche sich wiederum sofort zusetzen würden. Die vorhandenen oder speziell angebrachten Netze waren deutlich weitmaschiger (1000 µm) und konnten den Biofilm nicht auffangen. Ausgehend von temporären Reinigungsmaßnahmen, der relativ geringen Bewuchsmengen durch Biofilme und der niedrigen organischen Belastung kann bei einer Reinigung in diesem Stadium der Bewuchsentwicklung kein Gefährdungspotential für die betroffenen Gewässer erkannt werden. Da die Gewässer, in denen sich sehr viele Sportboote befinden, zumeist auch schiffbar sind, kann davon ausgegangen werden, dass es sich häufig um künstliche oder erheblich veränderte Wasserkörper im Sinne der WRRL handelt und somit weniger anspruchsvolle Qualitätsanforderungen gelten. Fatal wäre es aber, alle Sportboothäfen als „heavily modified water bodies“ einzustufen und damit die Qualitätsanforderungen drastisch zu senken. Besonders sensible Süßwasserbereiche, in denen sich die Häfen befinden, sollten solche Qualitätsnormen erfüllen, da diese Gewässer nach wie vor zur Lebensmittel- und Trinkwassergewinnung geeignet sind. In der Abwägung der Gewässerbelastung zwischen dem Freisetzen von Bioziden und einer Umlagerung organischen Bewuchses durch den Einsatz von alternativen Reinigungstechnologien kommt es entscheidend darauf an, den Reinigungszeitpunkt so bestimmen zu können, dass schon im Biofilmstadium gehandelt werden kann. Dieses ist sowohl für

die Geschwindigkeit und Beweglichkeit des Schiffes von großer Bedeutung als auch für die Minimierung der Gewässerbelastung inklusive der Vermeidung des Einschleppens fremder Arten. Bei Booten und Schiffen, die von Verbrennungsmotoren angetrieben werden, ist ein möglichst geringer Reibungswiderstand des Rumpfes zur Reduzierung des Treibstoffeinsatzes und der Emissionen von ausschlaggebender Bedeutung.

4.2.4 Zusammenfassung und Perspektive

Im ersten Untersuchungsjahr 2012 wurde deutlich, wie groß die Bewuchsunterschiede in Meer- und Süßwasserrevieren sein können. Am Süßwasserstandort Norden konnten alle Reinigungsgeräte den Bewuchs fast vollständig entfernen. Am Meerwasserstandort Norderney reichte die Wirksamkeit aller Geräte mit Ausnahme des Caviblasters nicht aus, um den Bewuchs zu entfernen. Auch der von einem Taucher bediente Caviblaster benötigte dort für die Plattenreinigung mehr Zeit als für ein ganzes Schiff zumutbar wäre. Der Aufwand an Personal, Material und damit Kosten ist allerdings ungleich höher als bei allen anderen Methoden. Der Caviblaster war neben dem Tauchereinsatz dennoch die einzige Methode, mit der fest sitzender Meeresbewuchs nach längeren Intervallen noch entfernt werden konnte.

Der Big Easy Cleaner BEC und die Beckmann Bürste stellen für bewuchssarme Süßwasserreviere eine effektive und handhabbare Alternative dar. Der BEC kann nur bei sehr kurzen Reinigungsintervallen auch im Meerwasser eingesetzt werden.

Der Srubmarine war ähnlich wirksam wie die Beckmann Bürste, aber in der Handhabung zu aufwendig und im Preis zu teuer.

Der Kärcher Hochdruckreiniger stellt zum jetzigen Zeitpunkt noch keine anwendbare Alternative dar. Bei Kärcher arbeitet man laut Firmeninformationen an der Entwicklung geeigneter Komponenten für die Unterwasserreinigung. Mit einer langen Lanze über zwei Meter und einer im Winkel verstellbaren Lanze wurden schon zwei hilfreiche Komponenten geliefert, aber das Problem besteht im eigentlichen Reinigungskopf. Der Bürstenkopf war zu weich und der Hochdruckstrahl verliert im Wasser zu schnell an Druck und erschwert das Arbeiten körperlich.

Der Hulltimo Smart ist eine gute Alternative, da er für viele Rumpfformen geeignet ist. Der Aufwand und die Handhabung sind akzeptabel, einzig der Preis dürfte für

einzelne Bootsbesitzer zu hoch sein und nur als Gemeinschaftsanschaffung oder für Vereine in Frage kommen.

Der Hulltimo Pro hat den Vorteil, dass er auch breitere Rümpfe komplett abreinigen kann. Allerdings ist die Handhabung sehr kompliziert und der Preis zu hoch. Trotz des guten Potentials werden diesem Gerät deshalb weniger Erfolgchancen auf dem Markt zugetraut.

Neu auf dem Markt und deshalb noch nicht Bestandteil dieses Tests ist das Reinigungsgerät „Keelcrab“ (<http://www.keelcrab.com/de/>). Es kann entweder per Fernbedienung bedient werden ähnlich wie der Hulltimo Pro, oder von einem Taucher geführt werden (Abb. 127).



Abb. 127: Reinigungsgerät Keelcrab, oben, mit Fernbedienung, mittig, als Taucher geführte Variante, unten.

Zwischen den Testbeschichtungen von Panadur und WEST SYSTEM mit BYK-Additiven konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Hier besteht aber

ein großes Potential, um die Reinigungseffektivität zukünftig zu verbessern. Da rund zwei Drittel aller Sportboote in Deutschland im Süßwasser liegen und nur ein Drittel in den Salz- und Brackwasserrevieren von Nord- und Ostsee (Watermann et al. in prep.), ist es ratsam, sich zunächst auf dieses Einsatzgebiet für Reinigungsgeräte zu konzentrieren. In Süßwasserrevieren kann die Reinigung von Sportbootrümpfen eine Alternative zum Einsatz von biozidhaltigen Antifoulingbeschichtungen sein. Wenn man berücksichtigt, dass einige Reviere sogar gleichzeitig auch noch als Trinkwassergewinnungsgebiet fungieren (z.B. Bodensee, Talsperren), ist diese mögliche Umweltverbesserung auch für den Menschen von großer Bedeutung. Für den Bodensee, den Dümmer See und das Steinhuder Meer existieren z.B. formal Verbote, biozidhaltige Antifoulingprodukte einzusetzen, aber mangels Alternativen wurden diese Verbote bislang nicht umgesetzt. In vielen Süßwasser-Revieren werden aus Unkenntnis über die (schwachen) Bewuchsverhältnisse Antifoulingprodukte mit zu hohen Leachingraten angewandt.

Ein Anreiz für den Umstieg könnte das Umweltzertifikat „Blaue Flagge“ darstellen. In den Zulassungsaufgaben der „Blauen Flagge“ für Häfen und Eigner ist der Punkt der Wahl umweltfreundlicher Antifoulingbeschichtungen aufgeführt, aber nicht spezifiziert (www.blaue-flagge.de/Sportboothafen/sportboothafen.html). Falls die Spezifizierung in Süßwasserrevieren auf biozidfreie Produkte zugespitzt würde, könnte die Bedeutung zunehmen.

In ähnlicher Richtung wird in verschiedenen Publikationen der Wasserschutzpolizei und des Motorbootverbands Bayern (www.bmyv.de) empfohlen, vorab zu prüfen, ob eine biozidhaltige Antifoulingbeschichtung nötig ist. Wörtlich heißt es darin:

„Es sollte geprüft werden, ob generell auf einen Antifoulinganstrich verzichtet werden kann. Günstig wirken sich in dieser Hinsicht folgende Umstände aus:

- Das Boot wird oft gefahren.
- Das nasse Unterwasserschiff wird mehrmals im Jahr mechanisch gereinigt (nach einer schnellen Fahrt).
- Das Boot wird nur im Süßwasser gefahren.
- Das Boot wird nur vorübergehend und dann außerhalb des Zeitraumes Mai bis Juli im Salzwasser gefahren und nach Verlassen des Salzwassers mechanisch gereinigt.
- Das Boot liegt nur während der Wassersportsaison im Wasser.

Ist ein Antifoulinganstrich erforderlich, sollten möglichst biozidfreie Anstriche (z. B. Silikon- oder Teflon®-Farben) gewählt werden“ (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2005)

Inwieweit diese Empfehlungen in den Voralpenseen befolgt werden, kann nur spekuliert werden. Nach persönlichen Aussagen von Antifoulinghändlern kommen in diesen Seen vor allem Antihafanstriche auf Teflonbasis zum Einsatz, welche aber überwiegend mit Kupfer gefüllt sind. Es wäre eine äußerst interessante Frage, ob in diesem Gebiet von Seglern und Motorboothfahrern auf biozidhaltige Beschichtungen in Verbindung mit einer Reinigung verzichtet werden könnte.

Als einziges Sportbootrevier in Deutschland, in dem explizit der Einsatz von biozidhaltigen Antifoulingprodukten verboten ist, kann der Ratzeburger See aufgeführt werden, in dem durch die „Wakenitz-Verordnung“ (GVOBI, S-H, 2000) seit 2000 nur biozidfreie Systeme eingesetzt werden dürfen. Hier kommen bisher vor allem erodierende Beschichtungen zum Einsatz, welche hohe Anteile (bis zu 30%) an Zinkoxid enthalten. Zinkoxid ist trotz seiner eindeutig nachweisbaren Toxizität bisher nicht als Biozid registriert, und wird diesen Status auch trotz einer Initiative des schwedischen KEMI behalten (KEMI, 2012).

Völlig biozidfreie Bewuchsschutzverfahren wie z.B. eine Reinigung werden daher voraussichtlich gerade in sensiblen Süßwasserbereichen immer mehr an Bedeutung gewinnen.

5 Literatur

- BAIER, R.E. (1973): Influence of the initial surface condition of materials on bioadhesion. In: ACKER, R.F., B.F. BROWN, J.R. DEPALMA & W.P. IVERSON (Ed.): Proceedings of the 3rd International Congress on Marine Corrosion and Fouling. National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, 633 - 639.
- BAuA (2003): Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Leitfaden für Zulassungen von Biozid-Produkten, Stand: 27.11.2003, 23 S.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2005): Verwendung von Antifoulingfarben auf Wasserfahrzeugen. Merkblatt 4.5/16, München, 8 S.
- BECKER, K. & M. WAHL (1991): Influence of substratum surface tension on bio-fouling of artificial substrata in Kiel Bay (Western Baltic): in situ studies. *Biofouling*, **4**: 275 - 291.
- BOCK, T. (2009): Die Haut fürs Boot. *boote* **2/09**: 63 - 70.
- BRADY R.F. jr & I.S. SINGER (2000): Mechanical factors favouring release from fouling release coatings. *Biofouling*, **15(1-3)**: 73 - 81.
- BRANDT, C. (2000): Basic conditions for a pleasure boat cleaning from view of the national and international federations. In: Fraunhofer IPA (Ed.): Mechanical cleaning of pleasure boats. Symposium boot-Messe, 25.1.2000, Düsseldorf, 68 - 76.
- Bund-/Länder-Arbeitsgruppe "Abwässer aus Werften" (2011): Hinweise und Erläuterungen zum Anhang 30. 8 S.
- CULVER, C.S., JOHNSON, L.T. (2012): IPM for Boats: Integrated Pest Management for Hull fouling in Southern California Coastal Marinas. UCCE-SD Tech. Rep. No 2012 - 2, 27 S.
- DAEHNE, D., B.T. WATERMANN & M. HORNE MANN (2012): Reinigung als Alternative zu biozidhaltigen Antifouling-Beschichtungen. *Wasser & Abfall* **3/2012**: 2 - 6.

- HASS K., B. WATERMANN, G. LIEBEZEIT & B. BEHRENDTS (2004): Vorkommen und Risikopotential von organischen Antifoulingbioziden in der maritimen Umwelt am Beispiel von Diuron und Irgarol 1051 in Verbindung mit der Durchführung chemischer Analysen von Diuron und Irgarol 1051 an ausgewählten Sedimenten der deutschen Nordseeküste im Bereich der Bremischen Häfen. Unveröff. Studie im Auftrag des WWF Deutschland, 48 S.
- HORNEMANN, M, B.T. WATERMANN, M. GROPIUS, M. HAASE, W. BEGLER & K.-P. GOLLMER (1999): Untersuchung von Verfahren zur Außenreinigung von Sportbooten als Alternative zu biozidhaltigen Unterwasseranstrichen (Teilvorhaben I & II). Abschlussbericht zum F+E Vorhaben FKZ 29767 147/02 im Auftrag des Umweltbundesamtes. 158 S.
- HORNEMANN, M. (2000): Investigations of procedures for the hull cleaning of pleasure boats as an alternative to biocidal underwater coatings. In: Fraunhofer IPA (Hrsg.): Mechanical cleaning of pleasure boats. Symposium boot-Messe, 25.1.2000, Düsseldorf, 4 - 30.
- HORNEMANN, M. (2003): Automatisierte flexible Reinigung von biozidfrei beschichteten Sportbootrümpfen. IPA-IAO 375, Jost-Jetter Verlag, 115 S.
- ISENSEE, J., B. WATERMANN & H.-D. BERGER (1994): Emissions of Antifouling-Biocides into the North Sea – an Estimation. Dt. Hydr. Zeitschrift, **46(4)**, 355 - 365.
- JANSON, P. (2011): Wasserrechtliche Rahmenbedingungen für die Reinigung von Sportbooten. (www.dbu.de/media/1403111027394o44.pdf).
- KEMI (2012) KEMI believes that antifouling paints with high levels of zinc oxide require approval. 26.3.2012. (www.kemi.se).
- KENDALL, K. (1971): The adhesion and surface energy of elastic solids. J. Physics, D, **4**: 1186 - 1195.
- MUNK, T. (2006): Fuel conservation through managing hull resistance. Motorship/BIMCO Propulsion Conference, April 26th, 2006, Copenhagen, 11 S.

- NENDZA, M. (2007): Hazard assessment of silicone oils (polydimethylsiloxanes, PDMS) used in antifouling/foul-release-products in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* **54, 8**: 1190 - 1196.
- OJL (1998): Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council of 16 February 1998 concerning the placing of biocidal products on the market, 63 S.
- OVERBEKE, K. (2000): Mechanical cleaning of pleasure boats – an overview, results, conclusions and recommendations for policy. In: Fraunhofer IPA (Hrsg.): Mechanical cleaning of pleasure boats. Symposium boot-Messe, 25.1.2000, Düsseldorf, 31 - 67.
- PREZZI, L. (2008): High solid coatings – the hybrid solution. European Coatings Conference “Marine Coatings”, Berlin, Vincentz Hannover.
- VAN ROMPAY, B. (2008): Surface treated coatings and ship hull performance. Marine Coatings Conference, SMM Hamburg, September 2008, 1 - 7.
- SCIENTIFIC COMMITTEE ON HEALTH AND ENVIRONMENTAL RISKS (SCHER) (2007): Risk arising from the use of copper-based antifouling paints used in leisure boating Dutch notification 2003/0201/NL, 15 S.
- UMWELTBUNDESAMT (2007): Beste verfügbare Techniken für die Oberflächenbehandlung unter Verwendung von organischen Lösemitteln. 743 S.
- VANTORRE, M., G. VAN KERKHOVE, E. LAFORCE & F. MOSTAERT (2005): Model 776 Investigation into the frictional resistance of coatings by means of comparative towing tests on flat plates. Flanders Hydraulics E.V. Project no. 00 4 - 776, 21 S.
- WAGENKNECHT, U., KRETZSCHMAR, P. PÖTSCHKE, F.R. COSTA, K. PEGEL, K.W. STÖCKELHUBER & G. HEINRICH (2008): Polymere Nanokomposite mit anorganischen Funktionsfüllstoffen. *Chem. Ing. Techn.*, **80(11)**: 1683 - 1699.
- WAHL, M., K. KRÖGER & M. LENZ (1998): Non-toxic protection against epibiosis. *Biofouling*, **12(1-3)**: 205 - 236.

- WATERMANN, B.T., B. DAEHNE, S. SIEVERS, R. DANNEBERG, J.C. OVERBEKE, J.W. KLIJNSTRA & O. HEEMKEN (2005): Bioassays and selected chemical analysis of biocide-free antifouling coatings. *Chemosphere*, **60**: 1530 - 1541.
- WATERMANN, B.T., C. FÜRLE, D. DAEHNE, D. TERIETE & A. THOMSEN (in prep.): Sicherung der Verlässlichkeit der Antifouling Expositionsschätzung im Rahmen des EU-Biozid-Zulassungsverfahrens auf Basis der aktuellen Situation in deutschen Binnengewässern für die Verwendungsphase im Bereich Sportboothäfen. UBA, UFOPLAN 2011, FKZ 3711 67 432.
- WIEGEMANN, M. & B. WATERMANN (2002): Biozidfreie Bewuchsschutzmaßnahmen in der Seeschifffahrt – Forschungsstand und verfügbare Produkte. *Rostock. Meeresbiol. Beitr.*, **11**: 39 - 55.
- WIEGEMANN, M. & B. WATERMANN (2003): Peculiarities of Barnacle adhesive cured on non-stick surfaces. *J. Adhesion Sci. Technol.*, **17(14)**: 1957 - 1977.
- WIEGEMANN, M. & B. WATERMANN (2004): The Impact of Desiccation on the Adhesion of Barnacles Attached to Non-stick Coatings. *Biofouling*, **20(3)**. 147 - 153.

Danksagung

Wir danken der Crew der Segelschule Prüsse für ihre Unterstützung, insbesondere Calle Sibbert, Sven, Marcello, Silke und Karl. Unser Dank gilt ebenso der Unterstützung durch:

- Dr. Rüdiger Berghahn, Umweltbundesamt
- Timo Liebe und Uwe Linke, Greenpeace
- Helge von der Linden, H.u.M. von der Linden, GmbH
- Herrn Behrends, Wasserschutzpolizei Niedersachsen
- Dr. Udo Rohweder, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg
- Hermann Pauls, Norderney
- Heiko Jacobs, denn der taucht was, Norderney

Das Projekt wurde von dem folgenden Beirat begleitet, dem hier ebenfalls für seine Arbeit gedankt werden soll:

- Dr. Christof Baum, IMARE GmbH
- Prof. Dipl. Dr.-Ing. Lothar Dannenberg, FH Kiel
- Dipl. Ing. Peter Janson, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt u. ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
- Dr. Christoph Schlüter, Umweltbundesamt, FG IV II.2
- Dr. Stephan Utzelmann, Deutscher Motoryacht Verband