

Zur Vorlage bei der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Abschlussbericht

im Projekt

„Umweltfreundliche Beschichtung von Sportbooten -
bewuchsabweisendes,
nicht leachendes Material auf Silikonbasis“

DBU-AZ 27224-31

vorgelegt von Dr. Maja Wiegemann, MAR_eCOAT

Oberndorf, im April 2011

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1. Einleitung.....	6
1.1. Ziele & Motivation.....	6
1.2. Ausgangspunkt zum Projekt/ Vorarbeiten.....	8
2. Projektdurchführung	11
2.1. Hindernisse & Verzögerungen	12
3. Projektinhalt.....	12
3.1. Beschichtungssystem	14
3.2. Applikationstechnik	15
3.3. Funktionalität.....	22
3.4. Erneuerung/ Überschichtung	25
3.5. Meilensteine & Ergebnisse der Machbarkeitsstudie.....	26
3.6. Handling/ Organisation/ Infrastruktur.....	28
4. Weitere Geschäftsentwicklung	29
4.1. Vermarktungswege	29
4.2. Einordnung des Produkts in die aktuelle Palette für umweltfreundliche Bewuchsverhinderung	30
4.3. Technisches und wirtschaftliches Risiko im weiteren Geschäftsaufbau.....	34
Anhang	
• Auszug aus Website www.marecoat.net	

Abbildungen und Tabellen

- Abb. 1: Yacht-Silikon/ Variante 2A stationär ausgelagert am Standort 3 (Norderney)
- Abb. 2: Haftkräfte von Seepocken (*Balanus improvisus*) auf dem Yacht-Silikon/ Variante 2A.
- Abb. 3: Abdruck des Schalenrands einer Seepocke auf einer hochwertigen Silikonbeschichtung für die Großschifffahrt
- Abb. 4: Haftkräfte von Seepocken (*Balanus spec.* und *Elminius modestus*) auf einer kommerziellen Silikonbeschichtung im Langzeittest
- Abb. 5: Abzugsversuch mit Adhäsionsbruch (A) und Kohäsionsbruch (B)
- Abb. 6: Temperatur – Topfzeit – Diagramm für Top-Coat T1
- Abb. 7: Faktorenkomplex bei der Erzeugung eines Beschichtungs-Systems:
- Abb. 8: Oberflächenfinish mit temperaturbedingt variierendem Glanz
- Abb. 9: Minimaler Overspray an der Folienwand
- Abb. 10: Wasserpass der Testbeschichtung;
oben: Kante nach dem Abziehen der Schutzfolie;
mittig: Weicher Übergang durch Nachbearbeitung;
unten: Nachbearbeitung mit Wasserpass-Streifen
- Abb. 11: Per Handapplikation beschichtete Schiffsschraube
- Abb. 12: Besiedeltes Gestell mit beschichteten Trägern bei der Inspektion zum Saisonende (September 2010);
oben: vor der Schwammreinigung; unten: nach der Schwammreinigung
- Abb. 13: Das Vergleichsprodukt (blau) und die eigene Beschichtung nach der leichten Schwammreinigung im Juni
- Abb. 14: Eine mit Schabern freigelegte Reparaturfläche
- Abb. 15: Gut eingeebnete „Naht“ (siehe Pfeil) der ausgebesserten Reparaturfläche
- Tab. 1: Meilensteine, Risiken und Ergebnisse
(modifiziert aus Projektantrag, Tab. 2: Meilensteine und Risikomanagement)
- Tab. 2: Biozidfreie Antihafbeschichtungen auf dem europäischen Markt (Listung nach www.bewuchsatlas.de mit Ergänzungen)
- Tab. 3: Biozidfreie erodierende/ selbstpolierende Beschichtungen auf dem europäischen Markt (Listung nach www.bewuchsatlas.de mit Ergänzungen)

Abkürzungen

GFK	Glasfaser-Kunststoff (Verbundbauweise)
SPC	Self Polishing Coating – selbstpolierende Beschichtung
TBT	Tributyltin – Tributylzinn, eine metallorganische Verbindung des Zinns, die hormonell wirksam ist und seit den 1970er Jahren zur äußerst effektiven Bewuchsabwehr in SPCs eingebaut wurde
VOC	Volatile Organic Compounds – flüchtige organische Substanzen
2-K	2-Komponenten (Basis und Härter, die zur Polymerisierung miteinander vermischt werden)

Weitere Begriffserklärungen

Anmerkung: Viele Begriffe im Beschichtungsbereich leiten sich aus dem Englischen ab und wurden ohne Übersetzung in den deutschen Sprachgebrauch transferiert.

Airless-Spraying	engl.: ‚luftloses Sprühen‘; im Gegensatz zum konventionellen Sprühen (bei dem das Material durch Druckluft zerstäubt wird) luftloses Zerstäuben des Materials, in dem das Material unter Druck gesetzt wird
Airassisted Airless-Spraying	engl.: ‚luftunterstütztes ‚luftloses‘ Sprühen‘; in Ergänzung zum Zerstäuben durch Materialdruck wird durch die Spritzpistole Druckluft geleitet, welche die Zerstäubung <i>unterstützt</i>
Antifouling	engl.: bewuchsverhindernde (toxische) Beschichtung im aquatischen Milieu
Fouling	engl.: Bewuchs; im ökologischen Sinn Aufwuchs auf technischen Oberflächen
Fouling-Release	engl.: Bewuchsablösung: In Ergänzung zur Minderung der Haftkräfte von Organismen können Antihafbeschichtungen durch entsprechende Eigenschaften den Ablöseprozess unterstützen und werden dann auch Fouling-Release-Coating genannt
Gelcoat	engl.: äußere Abschlusschicht eines GFK-Laminats
Osmose	Eindringen von Wasser in das GFK-Laminat aufgrund osmotischen Druckes (durch osmotisch wirkende Zersetzungsprodukte des Laminats), Blasenbildung unter der Gelcoat
Thixotropierung	Schaffung einer Abhängigkeit zwischen der Viskosität eines Materials und der mechanischen Krafteinwirkung sowie deren Dauer
Tiecoat	engl.: die Verbindungsschicht zwischen Substrat und Topcoat (z. B. Grundierung/ Primer, Haftvermittler)
Topcoat	engl.: die äußere bewuchsabweisende Schicht eines Beschichtungssystems
Topfzeit	Zeitspanne, in der 2-komponentiges Material nach dem Anmischen verarbeitet werden kann

Zusammenfassung

In dem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekt, zu dem hier der abschließende Bericht vorgelegt wird, wurde ein bewuchsabweisendes, nicht leachendes Material auf Silikonbasis zu einem Produkt entwickelt, das in der weiteren Entwicklung als Beschichtung für Sportboote auf den Markt gebracht werden soll.

Zur Projektdurchführung wurden 4 inhaltlichen Schwerpunkte gesetzt: 1. die Sondierung der Haftungsvermittlung und Materialverträglichkeit für diverse Bootsbaumaterialien, 2. die Entwicklung von Applikationstechnik, 3. die Überprüfung der Funktionalität der Beschichtung und 4. die Sicherstellung der Entschichtbarkeit und Erneuerung. Für alle in der Projektplanung genannten Schritte konnte die Machbarkeit geklärt und technisch realisiert werden. Das geplante substratspezifische Beschichtungssystem aus Top- und Tiecoat wurde auf ein einziges vereinfacht, das für alle gängigen Bootsbaumaterialien anwendbar ist. Dabei konnte auch die Entschichtbarkeit und Erneuerung gewährleistet werden. Für die schwierig zu handhabende Topcoat wurde sowohl eine Methode zur Spritzapplikation mit schwerem Gerät zur Beschichtung großer Flächen als auch eine einfache Handapplikation für kleinere Flächen oder zu Reparaturzwecken entwickelt. Eine besondere Herausforderung war die VOC-freie Gestaltung der Applikationsverfahren. Während die schwere Applikationstechnik im Laufe des Projekts an Bedeutung gewann und mit deren Komplexität sich die Handhabung im Werftbetrieb herauskristallisierte, erweiterte sich der Projektinhalt um das Handling von Technik, die Organisation von Arbeitsabläufen und die dafür notwendige Infrastruktur. Die Projektergebnisse zeigen, dass der in der Planung gedanklich bevorzugte Vermarktungsweg in Form von Kooperationen mit Werften weiter zu verfolgen ist. Mit der Unterstützung eines Reparaturbetriebes sollen in den folgenden 12 Monaten Referenzen geschaffen und die Annahme des Marktes geprüft werden.

1. Einleitung

Im folgenden Bericht wird eine von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte Produktentwicklung dargestellt. Das Projektziel bestand darin, von einem Material, das in Vorstudien über mehrere Jahre hinweg bemerkenswerte bewuchsverhindernde Eigenschaften im marinen Milieu zeigte, als Bootsbeschichtung weiterzuentwickeln. Von der Motivation und den Vorkenntnissen ausgehend wird im vorliegenden Rapport der Projektverlauf umrissen, Hindernisse und Erkenntnisse werden dargestellt und schließlich die Projektziele den Ergebnissen gegenübergestellt. Die über den Projektinhalt hinausgehende Weiterführung des Projekts und die Vermarktung werden angesprochen, deren Chancen und Risiken unter Berücksichtigung der aktuellen Lage werden betrachtet.

Der Bericht verzichtet aufgrund des Produktschutzes bewusst auf die detaillierte Darstellung von Experimenten, technischen Verfahren und Materialien. Die im Projekt erlangten Erkenntnisse werden jedoch hinsichtlich der Produktfunktionalität diskutiert und entsprechend ihrer ökologischen Vorteile und im Vergleich zur bestehenden Produktpalette bewertet. Der Projektschwerpunkt lag hier weniger in der wissenschaftlichen Problembehandlung als in der technischen Praxis. Dementsprechend wird in diesem Bericht Rechenschaft anhand der anwendungsspezifischen Lösung abgelegt.

1.1. Ziele & Motivation

Zur Verhinderung von Bewuchs (engl. ‚Fouling‘) wird sowohl in der Großschifffahrt als auch im Sportbootbereich hoch toxisches Material (Antifouling) eingesetzt. Yachthäfen befinden sich zumeist in geschützten, mehr oder weniger geschlossenen Küstenbereichen. Es sind gleichzeitig Horte für aquatische Organismen und gerade diese Horte sind anfällig für die Verseuchung durch Biozide. Der Einsatz von biozidhaltigen Antifouling ist deshalb – auch bei einer geringeren Gewichtung gegenüber der Großschifffahrt – nicht unbedenklich. Dabei werden aufgrund der toxischen Natur der Sache von der Applikation über die Servicezeit bis hin zur Wartung und Entschichtung Aspekte des Umwelt- und Gesundheitsschutzes berührt, die von Bootseignern häufig immer noch unterschätzt werden. Zudem werden kaum biozidfreie Alternativen für den marinen Bereich angeboten. Das ruft einen enormen Handlungsbedarf auf den Plan. Die problematischen Details werden im Folgenden aufgeführt:

Eintrag von Bioziden aus Boots-Antifouling in die Meeresumwelt

Das Wachstum von marinem Bewuchs (z.B. Seepocken, Algen) auf Bootsrümpfen stellt für die Bootseigner ein beträchtliches Problem dar. Bewuchs erhöht den Reibungswiderstand von Schiffsrümpfen und führt damit zu erheblichen Geschwindigkeitsverlusten. In den 70er Jahren schien durch die Einführung der selbstpolierenden Tributylzinn(TBT)-Antifoulingssysteme das Bewuchsproblem zunächst gelöst. Die Polierung der Beschichtung während der Fahrt führte zu einer kontrollierten Abgabe des Biozids und damit zu einer sehr effizienten Bewuchsverhinderung. Seit dem Bekanntwerden der negativen Auswirkungen von organozinnhaltigen Verbindungen auf die Meeresumwelt standen TBT-haltige Antifouling-Farben in der öffentlichen Kritik.

Im Zuge dessen wurde dieser Antifoulingtyp in der EU zunächst für Sportboote (1998), später auch in der Berufsschifffahrt (IMO-Konvention trat 2008 effektiv in Kraft, wobei bisher 34 Staaten, incl. Deutschland, mit einem Welttonnage-Anteil von insgesamt 52%

ratifizierten) verboten. Das TBT-Verbot erzeugte neben der Einführung von biozidfreien Alternativen hauptsächlich ein Zurückschwenken auf die Nutzung von Kupfer als Biozid. Selbstpolierende Beschichtungen (SPCs), die neben Kupfer- und Zinkverbindungen organische Co-Biozide enthalten, dominieren nun den Markt. Diese Biozide sind ebenfalls bedenklich (Kupferverbindungen sind persistent) für die Meeresumwelt und daher in etlichen europäischen Ländern bereits teilweise verboten (das betrifft vor allem die Binnengewässer). Weitere (EU-weite) Verbote – einschließlich solcher gegen Kupferverbindungen – sind zu erwarten. Zudem stellt die seit 1998 in Kraft getretene EG-Richtlinie über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten eine zeitliche und finanzielle Hürde für die Einführung neuer Biozide dar. Das betrifft auch organische Biozide, die mit dem Ziel entwickelt werden, sich durch eine hohe biologische Abbaubarkeit auszuzeichnen.

Um den Teufel jedoch nicht mit dem Belzebub auszutreiben, ist das Angebot von Alternativen von Nöten. Für die Handelsschifffahrt bestehen bereits biozidfreie Alternativen, diese sind aber leider nicht für die langsameren Freizeitboote mit längeren Liegezeiten zugeschnitten. Ein wirksames universell einsetzbares Produkt ist für die Sportbootschiffer immer noch nicht auf dem Markt.

Die silikonbasierten Produkte sind in der Palette der biozidfreien Beschichtungen die einzigen, die auch bei stärkerem Bewuchsdruck eingesetzt werden können. Die bis dato erfolgreichen Produkte beschränken sich allerdings auf die Verwendung für kleine Flächen (Bootspropeller, siehe Abschnitt 4.2.).

Umwelt- und Gesundheitsgefährdung bei Wartungsarbeiten

Das saisonale Schleifen und Anstreichen ist bisher Usus in der Sportboot-Branche. Allerdings ist dies nicht nur ein unangenehm anstrengender und zeitraubender Akt für den Bootseigner, sondern stellt vor Allem auch ein gesundheits- und umweltgefährdendes Risiko dar. Schon nach dem Slippen der Boote wird häufig der *Kärcher* aktiviert, um den noch feuchten Bewuchs zu entfernen. Es bleibt dabei jedoch nicht beim Bewuchs, sondern es wird auch ein Großteil der Antifouling (i. d. R. biozidhaltig) abgetragen und gelangt – da Auffang- und Filteranlagen in Vereinen kaum vorhanden sind – direkt in angrenzende Gewässer oder in die Kanalisation. Der nächste schwerwiegende Akt wird beim Schleifen der Altantifouling vollzogen. Einige Bootseigner schützen sich mit einer Staubmaske, die das Größte von den eigenen Atemwegen abhält. Statt Absauganlagen, verwenden Freizeitsportler ausgediente Hausstaubsauger, mit denen der Schleifstaub nachträglich vom Rumpf gesaugt wird. Wurde in der Halle geschliffen, bleibt der größte Teil des giftigen Staubs zumeist auf dem Boden liegen, im Freien wird er vom Winde verweht. Obwohl einige Farbhersteller in ihren Broschüren Hinweise zum umweltgerechten Umgang mit ihren Anstrichen geben (statt Hochdruckreinigen den Bewuchs nur mit einem Lappen von der feuchten Antifouling zu wischen; vor dem Schleifen eine Plane unter dem Boot auszulegen, um den Staub aufzufangen und anschließend zu entsorgen), werden diese Tipps oft nur unzureichend (da aufwendiger) beachtet. Eine echte Alternative zu dieser Praxis würde eine langlebige, ungiftige Beschichtung bieten, die nur im Werftbetrieb zu entschichten ist. Indem diese Beschichtung den Wert hätte, nicht – wie üblich – nach jeder Saison erneuert werden zu müssen, sondern lediglich einige Reinigungen im Sommer benötigt, wäre sie insgesamt weniger arbeitsaufwendig (Schleifen und Anstriche entfallen) und vor allem umweltschonender.

Ausleachende/ extruierende Bestandteile aus Silikonbeschichtungen

Silikonbasierte Rumpfbeschichtungen sind in der Seeschifffahrt keine Neuheit mehr und haben sich auf Schiffen unterschiedlicher Operationsprofile als umweltschonende Alternative zu biozidhaltigen Antifouling bewährt. Insbesondere auf schnelleren Schiffen – wie

Katamaranfähren und Cruisern – werden die Beschichtungen erfolgreich eingesetzt. Allen Farbherstellern voran geht dabei Akzo Nobel/ International (gemessen an Referenzschiffen). Die aktuellen Silikonprodukte für die Großschifffahrt enthalten extrudierende Bestandteile, die einen hydrogelartigen Film (O-Ton Firma Hempel, MCC, Hamburg, 2008) auf der Oberfläche erzeugen (mehr zur Funktionsweise von silikonbasierten Beschichtungen siehe Anhang). In der Vergangenheit wurde zur Erzeugung eines Oberflächenfilms häufig Silikonöl verwendet. Allerdings ist die Verwendung von Silikonöl aus ökologischer Sicht nicht favorisierbar, da hier persistente Stoffe kontinuierlich abgegeben werden. Der Einsatz von abbaubaren Stoffen, z. B. Isoparaffine, erscheint dabei schon umweltgerechter. Unabhängig davon führt das Ausleachen von Stoffen bei Erschöpfung zu einem Nachlassen der Funktionalität der Beschichtung (siehe dazu folgenden Abschnitt 1.2. und Abb. 4). Das Material, das in diesem Projekt verwendet wurde, entfaltet seine Antihafwirkung gänzlich ohne ausleachende Bestandteile.

Lösungsmittel in Beschichtungsstoffen

Lösungsmittel in Farben und Lacken tragen im erheblichen Maß zur VOC-Emission (VOC = flüchtige organische Verbindungen) bei. VOC-Emissionen führen zur Bildung klimaschädlicher, fotochemischer Oxidantien in der Grenzschicht der Troposphäre. VOC-Richtlinien werden deshalb kontinuierlich an den Stand der Technik und die Wirtschaftlichkeit der Umsetzung angepasst. Die aktuellste europäische Richtlinie ist die sogenannte Decopaint-Richtlinie 2004/42/EG und bezieht sich vor allem auf die Möbelindustrie und Handwerksbetriebe mit geringem Materialumsatz. Der Verzicht auf Lösungsmittel – vor allem im Spritzverfahren – war daher von Bedeutung für die Umsetzung einer umweltfreundlichen Beschichtung.

Silikonbasierte Beschichtungen sind aufgrund ihrer hohen Viskosität schwer zu applizieren und werden deshalb im Werftbetrieb gängigerweise unter hohen Drücken im Airless-Spray-Verfahren verarbeitet. Um die Verarbeitung der mehrkomponentigen Beschichtungen zu erleichtern werden Lösungsmittel zugesetzt, die später während der Aushärtung verdunsten. Mit der Verwendung von Lösungsmitteln sind aufwendige Maßnahmen zur Gewährleistung von Umwelt- und Gesundheitsschutz verbunden, deren Einhaltung und Praktikabilität wiederum eine Sache für sich ist. Auch alle für Sportboote bisher erhältlichen Silikonbeschichtungen enthalten Lösungsmittel.

Die eigenen Ambitionen umfassten aufgrund der VOC-Problematik die lösungsmittelfreie Applikation der Top-Coat.

Der Projektansatz bestand darin, die 4 oben genannten Probleme durch den Einsatz eines neuen Materials als Antihaf-Beschichtung zu lösen. In Vorarbeiten wurde ein silikonbasierter Werkstoff gefunden, der als Topcoat für ein Beschichtungssystem dienen könnte (siehe folgenden Abschnitt). Es handelt sich um einen biozidfreien Stoff, der keine ausleachenden Bestandteile enthält und somit gegenüber den gängigen selbstpolierenden Antifouling oder gegenüber den ausleachenden Antihafbeschichtungen keinen ‚Verbrauch‘ zeigt. Darüber hinaus schien die lösungsmittelfreie Applikation im Bereich des Möglichen zu liegen.

1. 2. Ausgangspunkt zum Projekt/ Vorarbeiten

Der Ausgangspunkt zu dieser Projektidee bestand neben dem Wissen um die oben beschriebene Umweltproblematik in der Entdeckung eines biozidfreien Werkstoffs, der ursprünglich zur Ansiedlung von Seepocken mit geringen Haftkräften in der Nordsee ausgelagert wurde. Das silikonbasierte Material zeigt Antihaf- und Foulingrelease-

Eigenschaften, die denen der für die Großschifffahrt zur Verfügung stehenden Silikon-Beschichtungen entsprechen. Es handelt sich um eine 2-komponentige hochvisköse Substanz auf der Basis von Vinylpolysiloxan (VPS). Das Material wurde ab Ende 2006 im marinen Milieu exponiert (stationärer Plattentest). Es zeigte über einen Zeitraum von 4 Jahren an einer Station und in 3 weiteren Varianten (unterschiedliche Elastizitätsmoduli) nach einer Saison an 2 weiteren Stationen hervorragende Ergebnisse (siehe Abb. 1). Die Beschichtungen waren einem enormen Bewuchsdruck (insbesondere gegenüber Seepocken) ausgesetzt und wurden stark besiedelt (wie alle nicht-toxischen, festen Substrate unter Wasser). Doch eine geringe Scherkraft reichte, um den Bewuchs abzulösen. Der Median der Daten einer Mess-Serie (Haftkräfte von Seepocken der Art *Balanus improvisus* mit einem mittleren Basaldurchmesser von 6 mm auf der Beschichtungsvariante Yacht-Silikon/ 2A) im Juli 2008 lag bei 30 kPa (detaillierte Daten in Abb. 2). Diese Werte liegen im Bereich der 2 besten Silikonbeschichtungen (von insgesamt 8 Silikonbeschichtungen), die zwischen 1998 und 2002 im großangelegten Schiffsversuch im Rahmen des DBU-Projekts (Performance of biocidefree antifouling paints – Trials on deep sea going vessels) getestet wurden. Die Bezeichnung ‚geringe Haftkräfte‘ wurden damals bei einem mittleren Wert unterhalb von 50 kPa verwendet. Dies ist auch ungefähr das Limit des messbaren Bereichs, da etliche Seepocken bei dieser geringen Haftung schon von allein abfallen. Mit diesen geringen Haftkräften war es den Besiedlern auf dem Yacht-Silikon nicht möglich, das Material zu zerstören. Seepocken gelang es weder in das Substrat einzuwachsen noch einen Abdruck ihres Schalenrandes zu hinterlassen (wie ich es in der Vergangenheit auf anderen Silikonbeschichtungen beobachten konnte – siehe Abb. 3)



Abb. 1: Yacht-Silikon/ Variante 2A stationär ausgelagert am Standort 3 (Norderney): Im unteren Bereich ist Seepockenbewuchs zu sehen. Die Zone oberhalb der Seepocken fiel teilweise trocken. Hier konnten sich auf der Beschichtung keine Seepocken halten (aufgrund der Austrocknung des Seepockenzements, der auf Antihafbeschichtungen stark wasserhaltig ist (vergleiche Seepocken auf dem PVC-Rahmen, auf denen sich die Tiere problemlos halten konnten). Die Haftung der Seepocken und des Biofilms auf der Beschichtung ist sehr gering. Die Spur im oberen Bereich entstand durch leichtes Wischen mit dem Daumen).

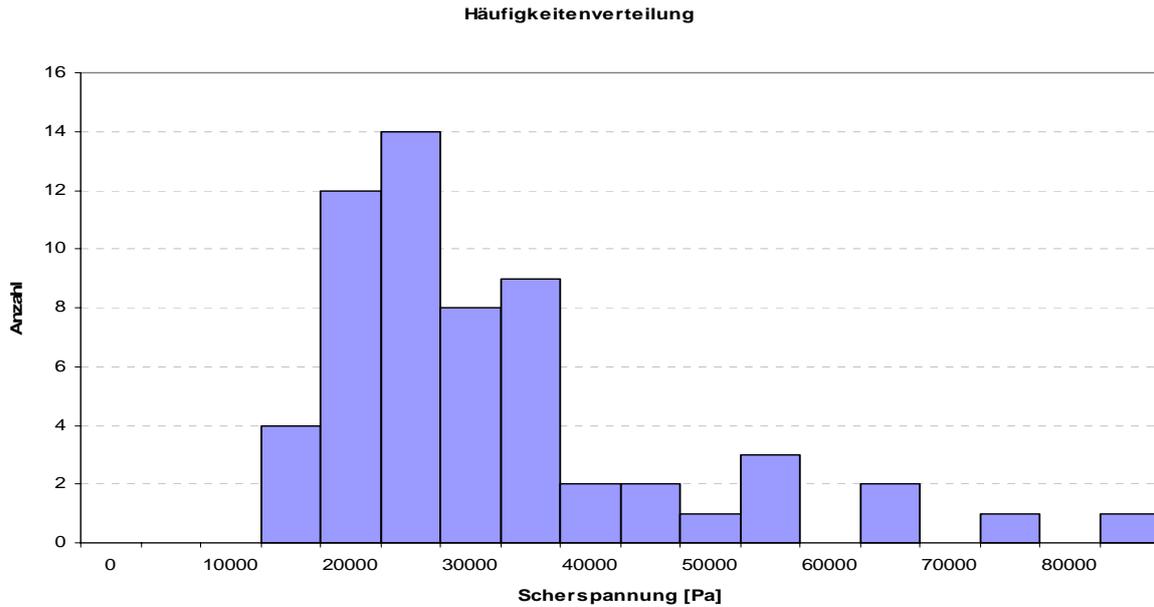


Abb. 2: Haftkräfte von Seepocken (*Balanus improvisus*) auf dem Yacht-Silikon/ Variante 2A.

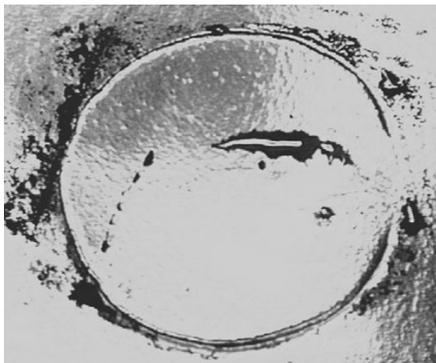


Abb. 3: Abdruck des Schalenrands einer Seepocke auf einer hochwertigen Silikonbeschichtung für die Großschifffahrt¹

Im früheren Langzeit-Projekt zeigte sich die Tendenz, dass die Performance der Beschichtungen teilweise schon nach einem Jahr nachließ. Das konnte aufgrund der variierenden Umweltparameter (Operationsprofile, Bewuchsdruck) und der damit verbundenen großen Streuung der Daten statistisch nicht nachgewiesen werden. Dennoch wurde der Grund dafür in einer Verminderung der ausleachenden Bestandteile gesehen. Hier ein Beispiel für eines der beiden am besten funktionierenden Silikonprodukte im Langzeittest auf dem Forschungsschiff *Buise*:

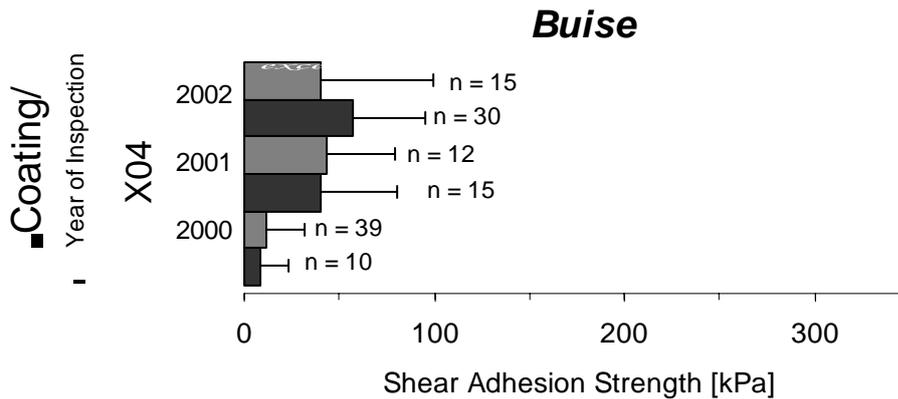


Abb. 4: Haftkräfte von Seepocken (*Balanus spec.* und *Elminius modestus*) auf einer kommerziellen Silikonbeschichtung im Langzeittest ¹

Mit den oben gezeigten Daten zu den außerordentlich geringen Haftkräften von Seepocken, die ohne das Wirken ausschwitzender Bestandteile erreicht wurden, qualifizierte sich das Material als mögliche Topcoat (äußere bewuchsabweisende Schicht) für ein Beschichtungssystem. Daraus ergab sich die Aufgabe für das hier dargestellte Projekt - die Entwicklung des Materials zu einer Bootsbeschichtung. Als technische Herausforderungen galten konkret folgende Punkte:

- A) die Entwicklung des kompletten Beschichtungssystems (Tiecoat + Topcoat auf dem jeweiligem yachttypischen Substrat);
- B) die Eruierung des Applikationsverfahrens (lösemittelfrei);
- C) die Möglichkeiten der Entschichtung bzw. Erneuerung.

2. Projektdurchführung

Das Projekt startete zum 1.4.2009 mit dem Umzug von Helgoland nach Geversdorf, wo auf einem ehemaligen Werftgelände direkt am Unterlauf der Oste die Projektbedingungen zunächst optimal erschienen. Werkstatt, Büro und Auslagerungsponton wurden hier eingerichtet.

Die Projektschwerpunkte, die nun in Angriff genommen wurden, bestanden zum einen in der Entwicklung des Beschichtungssystems aus Top- und Tiecoat sowie etwaigen substratspezifischen Primern und zum anderen in der Entwicklung von Be- und Entschichtungs- bzw. Erneuerungsverfahren. Dazu gehörte die Akquise bzw. Entwicklung von Applikationstechniken, wobei neben einer Methode zur Handapplikation die Sprühtechnik mit schwerem Gerät im Fokus stehen sollte. Ein dritter Schwerpunkt, über den in der Projektplanung lediglich theoretisch spekuliert werden konnte, war der Schritt aus der Entwicklungsphase hinaus in die Praxis. Während der Projektdurchführung wurde klar, dass die ersten Maßnahmen hierzu in der Organisation von geeigneter baulicher und technischer Infrastruktur bestanden.

¹ aus: Wiegemann M, Watermann B (2004) Adhesion strength of barnacles to Foul-release coatings in long-term ship trials. unpublished manuscript. In: Diss. Uni-Greifswald

2.1. Hindernisse & Verzögerungen

In jedem herausfordernden Projekt sind nicht nur Ergebnisse zu gewinnen, sondern auch Hürden zu überwinden. Häufig führen sogar erst Fehler zu den wichtigen Erkenntnissen. Auch innerhalb dieses Projekts mussten Kurskorrekturen in Angriff genommen werden:

Schon zu Projektbeginn zeigte sich, dass das Beschichtungsmaterial der Wahl, das bereits über mehrere Jahre in submersen Plattenversuchen getestet worden war, aufgrund der Sortimentumstellung eines Lieferanten nicht mehr geliefert werden konnte. Daraufhin wurden Alternativmaterialien und –lieferanten für die Topcoat ausfindig gemacht. Diese Erfahrung motiviert ein stetes Testen und Entwickeln weiterer Alternativen. Langfristig wird angestrebt, eine komplett eigene Mischung dieses Materials zu erzeugen, so dass neben den bewuchsverhindernden Eigenschaften, die mechanische Belastbarkeit des Materials und die Verarbeitungseigenschaften (Viskosität, Topfzeit, etc.) konstant gehalten werden können.

Doch die größere Nuss, die zu knacken war, bestand in der Beschichtungsanlage. Der Versuch, eine funktionierende Anlage zu akquirieren bzw. eine materialspezifische Anlage in Kooperation mit Geräteherstellern zu entwickeln, scheiterte. Daraufhin wurde eine umfassende Eigenentwicklung in Angriff genommen. Das Erfolgsrisiko, das mit einem immensen Zeitaufwand einherging, resultierte in einer hervorragend funktionierenden, vergleichsweise einfachen und kostengünstigen Anlage, die einen größeren Freiraum in Bezug auf Wartung und Bereitstellung weiterer Anlagen bietet.

Die dritte Kurskorrektur musste bei der angemieteten Immobilie vollzogen werden. Diese erwies sich zwar als für den Projektstart geeignet, doch zeigten sich unvorteilhafte Aspekte, welche die Weiterentwicklung des Projekts behinderten und dabei ein ungünstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis erkennen ließen. Es konnte eine kostengünstigere Alternative gefunden werden, die für handwerkliche Gewerbearbeiten – speziell für Yachtreparaturen in den Punkten Zugänglichkeit und Platzangebot – eine bessere Eignung zeigte. Letzteres erweist sich vor allem in der Projektfortführung von Vorteil. So konnte hier relativ unproblematisch eine 10 Meter lange Lackierkabine eingerichtet werden. Darüberhinaus bieten die Räumlichkeiten und das Umfeld Expansionsmöglichkeiten für die weitere Geschäftsentwicklung.

Damit konnten alle drei Hindernisse in eine Verbesserung der Manövrierfähigkeit umgewandelt werden.

3. Projektinhalt

Auch wenn sich die zeitliche Abfolge der einzelnen Projektbestandteile nicht ganz an die methodische Gliederung halten konnte, so bietet sie doch ein brauchbares Gedankengerüst, das auch im Folgenden beibehalten werden soll. Diesem muss allerdings noch der Punkt Handling/ Organisation/ Infrastruktur hinzugegestellt werden, der sich im Projektablauf mit einem erheblichen Zeitkontingent bemerkbar machte.

3.1. Beschichtungssystem

Wie im Abschnitt 2.1. bereits dargestellt, war für das vorgesehene Material der Topcoat eine Alternative zu finden. Diese musste nicht nur im Punkt Bewuchsabwehr, sondern auch in ihrer mechanischen Belastbarkeit ähnliche Eigenschaften wie das bereits erfolgreich getestete Material besitzen. Hinzu kamen Überlegungen zur Verarbeitbarkeit des Materials mittels Farbspritzanlage oder auch durch Handapplikation. Es wurde ein sehr ähnliches Material

gefunden, das - wie das Vorgängermaterial - eine 2-komponentige hochvisköse Substanz auf der Basis von Vinylpolysiloxan (VPS) darstellt.

In Abstimmung mit dem neuen Topcoat-Material wurden diverse Haftvermittler (die hier nicht näher bezeichnet werden) auf deren Einsatzmöglichkeit getestet. Dabei fanden die Faktoren Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Hinblick auf die Praxistauglichkeit Berücksichtigung. Dieses Problemfeld stand bereits im Zwischenbericht zur Diskussion. Auf die Handhabung der Schwierigkeiten, die damit verbunden sind, wird u. a. im Exkurs zur Temperierung (Abschnitt 3.2. dieses Berichts) eingegangen.

Generell wird die Haftungsvermittlung durch physikalische und chemische Parameter der Adhärenten erzeugt. Eine hervorragende mechanische Verzahnung kann über die Vergrößerung der Kontaktflächen stattfinden. Im Falle der Anwendung wäre dies die Aufrauung der Oberfläche, die vom Beschichtungsmaterial benetzt wird. Daher wurden die Rumpfsubstrate diversen Vorbehandlungen unterworfen (diverse Schrub- und Schleifmethoden sowie Körnungen, Strahlen mit unterschiedlichem Strahlgut). Dabei fiel die Vorauswahl auf die Methoden, die eine einfache Übertragung in die Praxis versprachen. Auf Beiztechniken etc. sollte aufgrund des umweltfreundlichen Anspruchs verzichtet werden. Die Experimente zur Haftungsvermittlung wurden mit den 4 gängigen Substraten im Yachtbau durchgeführt: GFK, Sperrholz, Aluminium und Stahl. Das Bootsbaumaterial Holz lässt sich besonders gut mechanisch bearbeiten und daher aufrauen. Theoretisch wäre hier die Zugabe eines Haftungsvermittlers nicht notwendig. Allerdings müssen bei den Überlegungen zum Schichtaufbau auch die Möglichkeiten zur Entschichtung berücksichtigt werden. Bei einer notwendigen Entfernung der Beschichtung wird auch das Rumpfmateriale aus der Verzahnungszone abgetragen. Je stärker die Verzahnung ist, desto höher fällt also auch der Abtrag von Rumpfmateriale aus. Im Sinne der problemlosen und Rumpfmateriale schonenden Entschichtbarkeit muss also auf eine starke Aufrauung der Oberfläche verzichtet werden. Jedoch ist die stärkere Forcierung der chemischen Adhäsion aufgrund der materialeigenen Antihafteigenschaften (die es im Sinne der Bewuchsverhinderung aufweist) nicht ganz trivial.

Die Effektivität der Haftungsvermittlung wurde im Abzugsversuch ermittelt (siehe Abb. 1). Zunächst kam dabei ein Kraftaufnehmer (Federwaage) zum Einsatz. Die Messungen waren sinnvoll, solange durch den Abzug ein Adhäsionsbruch erzeugt werden konnte (siehe Abb. 1/ A). Dies bedeutete, dass die Kraft, die eingesetzt werden musste, um den Bruch zu erzeugen, geringer war als die Kraft die nötig wäre, um die Kohäsionsfestigkeit der Beschichtung zu überwinden. Die Haftungsvermittlung konnte jedoch erst durch das Erzeugen von Kohäsionsbrüchen als zufriedenstellend deklariert werden (siehe Abb. 1/ B). Ein derartiger Bruch macht nicht nur eine wesentlich stärkere Krafteinwirkung erforderlich, sondern führt zum Zerreißen des Materials und lässt Reste auf der Substratoberfläche erkennen (z. B. in Form eines Films). Hier genügte die Beobachtung ohne Festhalten eines Messwerts, da die aufzuwendende Kraft der Kohäsionsfestigkeit der Beschichtung entsprach. Dabei war eine wesentliche Voraussetzung zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse die Einhaltung einer gewissen Schichtstärke, welche die Reißfestigkeit mitbestimmt.



Abb. 5: Abzugsversuch mit Adhäsionsbruch (A) und Kohäsionsbruch (B)

Während im Zwischenbericht noch von 2 Varianten zur Haftungsvermittlung ausgegangen wird, wurde das System nun auf eine Variante – unabhängig vom Rumpfmateriale reduziert. Das Haftsystem, das sich als geeignet für alle Untergründe erwies, besteht aus 2 verschiedenen Anstrichen: einem auf Epoxydharz basierendem Primer und dem eigentlichen Haftungsvermittler. Während der Primer den Abschluss und die Verbindung zum Substrat herstellt, verhält er sich gleichzeitig günstig für das Andocken der Komponenten des Haftungsvermittlers. Und letzterer enthält die verbindenden Komponenten zur Topcoat.

Wie oben bereits für das Holzsubstrat die Möglichkeit des Verzichts auf eine Grundierung erwähnt wurde, kann theoretisch auch auf Aluminium und Stahl bei einer entsprechenden (mechanischen) Vorbehandlung des Untergrunds auf die Primerschicht verzichtet werden. Eine recht gute Haftung kann hier allein durch das Wirken des Haftvermittlers in Kombination mit einer starken Oberflächenvergrößerung durch Aufrauung erzielt werden (z. B. durch Sandstrahlen mit entsprechendem Strahlgut). Neben den bereits erwähnten Einschränkungen zur Entschichtungs-freundlichkeit muss dabei abgewogen werden, ob diese Handhabung praxistauglich wäre. Zu denken wäre dabei z. B. an die rasante Flugrostbildung nach der Entschichtung von Stahl), der i. d. R. mit einem raschen ersten korrosionsverhindernden Anstrich vorgebeugt wird. Die generelle Verwendung des Primers vereinfacht hingegen die Vorbehandlung des Substrats, da die Oberflächenstruktur keiner besonderen Berücksichtigung bedarf. Der Epoxy-Primer bietet weiterhin die Möglichkeit, gut erhaltene Altanstriche (Hardantifouling) abzudecken. Jedoch sollten Unebenheiten des Rumpfes zuvor mit Spachtelmasse ausgeglichen werden.

3.2. Applikationstechnik

- Sprühverfahren-

Es wurde schwerpunktmäßig das Ziel gesetzt, für die Topcoat eine geeignete Applikationstechnik im Sprühverfahren zu finden. Das Zerstäuben des Materials verlangt das Arbeiten im Hochdruckbereich und die damit verbundene schwere Technik. Es wurde schnell deutlich, dass hier eine pneumatisch betriebene Maschine zum Einsatz kommen muss. Der Anspruch der Anlage an die Bereitstellung von Druckluft erfordert einen leistungsstarken Kompressor. Dieser wurde zunächst gemietet und bald eine eigene Anschaffung vorgenommen.

Der Aufbau der Spritzanlage erfolgte schrittweise (Die Möglichkeit des Austestens diverser Gerätschaften war aufgrund der Kosten und der unbeliebten Eigenschaften von Silikon, die zu einer für andere Zwecke nicht mehr brauchbaren Kontamination führen, begrenzt. So gibt es zu der hier gewählten Applikationstechnik möglicherweise weitere Alternativen, die jedoch nur gedanklich durchgespielt wurden.):

Begonnen wurde mit einkomponentigen Sprühtests mittels einer einzelnen Pumpe. Damit konnte die notwendige Pumpleistung abgeschätzt werden, diverse Varianten der Filterung von Material und deren Auswirkung auf den Materialdruck getestet werden sowie die Auslegung von Spritzpistole und Düse festgestellt werden. Nach der Festlegung der Pumpenparameter wurde eine zweite Pumpe in das System integriert. Die Zwillingpumpe erlaubte die Beförderung der zweiten Komponente. Im nächsten Schritt wurde eine Mischeinheit aufgebaut (da das auf dem Markt befindliche Teil zu teuer erschien und das Konkurrenzprodukt nicht erhältlich war, wurde auch hier auf eine eigene Entwicklung gesetzt). Deren Funktionalität wurde mit einem nichtaushärtenden 2-komponentigen Material getestet. Daran schloss sich der Aufbau des Spülzyklus an; hierzu war die Installation der dritten Pumpe erforderlich. Zu diesem Zeitpunkt wurden noch einmal Tests zum Finden eines besser geeigneten Spülmittels vorgenommen. An dieser Stelle soll ein kurzer **Exkurs zum Spülmittel** dessen Problematik erklären:

Die Topcoat ist ein 2-komponentiges System aus hochviskosem Material. Die beiden Komponenten müssen vor dem Verspritzen gut gemischt sein, damit die Aushärtung problemlos erfolgen kann. Da das Material eine Topfzeit von Minuten hat (siehe Abb. 6), kann es auf der Mischstrecke zu folgeschweren Verstopfungen kommen. Das Beschichtungsmaterial muss also nach Abschluss des Spritzvorgangs und bei jeder Unterbrechung gründlich aus der Mischstrecke entfernt werden. Das optimale Spülmittel wäre aus technischer Sicht ein Lösungsmittel, das die Aushärtung des Materials in der Mischstrecke verhindert und sich während des Spritzvorgangs verflüchtigt. Der ökologische Anspruch bestand hier jedoch darin, auf Lösungsmittel zu verzichten. Es wurde ein Spülmittel gefunden, das genügend viskos ist, um restliches Beschichtungsmaterial aus der Mischstrecke zu drücken und die Aushärtung geringer verbleibender Reste zu verhindern. Ausgehärtete Reste würden – auch in kleinen Dimensionen - das Spritzbild beim nächsten Spritzvorgang stören und die Düse zusetzen. Da sich das gefundene Spülmittel nicht wie ein Lösungsmittel entledigt, können Spülmitteltröpfchen zu Problemen bei der späteren Aushärtung der Beschichtung auf dem Substrat führen. Daher muss das Spülmittel vor dem nächsten Spritzvorgang gründlich aus der Mischstrecke entfernt werden. Um den Materialverbrauch hierbei in Grenzen zu halten, wurde die Mischstrecke äußerst knapp eingerichtet. Während das Silikonmaterial nach der Mischung nicht mehr für Beschichtungszwecke recycelt werden kann, ist die Wiederverwendung des Spülmittels nach gründlicher Filtration problemlos möglich.

Die ökologischen Vorteile des Systems sind also:

- Keine Lösungsmittel im Spülmittel und im Beschichtungsmaterial

- Kurze Mischstrecke, um den Materialverbrauch gering zu halten
- Spülmittel wieder verwendbar, dadurch Ressourcenschonung & Abfallvermeidung

Damit wurden die im Zwischenbericht erkannten Anforderungen an das Spülmittel erreicht. Das Finden eines geeigneten Spülmittels war essentiell für die komplikationsfreie Handhabung des gesamten Systems, das nun - insbesondere hinsichtlich Verstopfung von materialführenden Teilen und deren Reinigung - getestet und optimiert werden konnte. Trotz der Verwendung von drei Pumpen ergab sich vom Gewicht und Volumen her ein wenig monströses, relativ gut manövrierbares Gerät. Diese Eigenschaften erweisen sich besonders in einer räumlich begrenzten Lackierhalle von Vorteil.

Hieran schlossen sich Versuche zur besseren Temperierung des Systems an, die mit sinkenden Außentemperaturen intensiviert wurden. Dazu gehörte auch die Erwärmung der Spritzluft. Durch ein geeignetes Leitungssystem wurde die Abwärme des Kompressors zur Temperierung von Spritzluft und materialführenden Schläuchen nutzbar gemacht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Applikationstechnik gefunden wurde, die im Airassisted-Airless-Spritzverfahren die Zerstäubung des Topcoat-Materials erlaubt und dieses somit großflächig und gleichmäßig aufgetragen werden kann. Trotz der technischen Verbesserungen zur Temperierung muss festgestellt werden, dass die Beschichtung nur in den Sommermonaten oder in einer gut klimatisierbaren Halle durchgeführt werden kann, um ein gutes Finish (Oberflächenqualität) zu erzeugen. Dies hängt mit den Besonderheiten des Materials und mit dem Anspruch an seine Lösemittelfreiheit zusammen (siehe Abschnitt 1.1.). Die Schwierigkeiten und Lösungsansätze, die mit diesem Verzicht verbunden waren, sollen im folgenden *Exkurs zur Temperierung* skizziert werden:

Gängige Farben enthielten in der Vergangenheit Lösungsmittel, die beim Auftragen auf die Oberfläche zur Filmbildung verhalten und beim Verdunsten zum ‚Trocknen‘ des Farbmaterials führten. Im Gegensatz dazu härtet das Topcoat-Material, mit dem hier gearbeitet wird, hauptsächlich durch die Zufuhr von thermischer Energie aus.

Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen Temperatur und Topfzeit für T1.

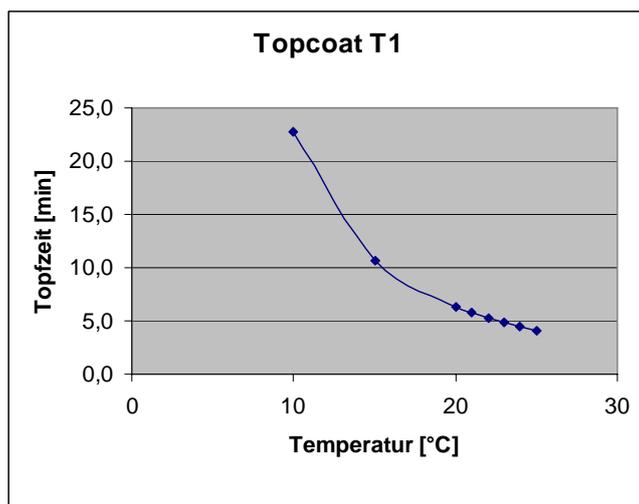


Abb. 6: Temperatur – Topfzeit – Diagramm für Top-Coat T1

In Abhängigkeit von der Temperatur ist die Dosierung des Spritzgutes einzurichten. Bei höheren Temperaturen kann mit einer höheren Schichtstärke gearbeitet werden, da das Material schneller aushärtet. Doch ein zu dicker Auftrag führt zu Läuferbildung. Ein zu dünner Materialauftrag kann nicht genügend verlaufen und ergibt keine geschlossene Fläche. Die Tröpfchen des höherviskosen Materials bilden dann ein recht

krisseliges Bild. Die Abb. 8 zeigt den variierenden Oberflächenglanz, der durch unterschiedliche Substrattemperierung entstanden ist.

Da die Filmbildung im VOC-freien System nicht durch die Verdunstung von Lösungsmittel unterstützt wird, ist der Toleranzbereich der richtigen Dosierung recht eng. Deshalb ist für ein gutes Spritzbild neben einer gleichmäßigen Führung der Spritzpistole die gleichmäßige Temperierung entscheidend.

Bei winterlichen Temperaturen ergibt sich hier eine große Schwierigkeit. Experimentiert wurde mit diversen Wärmequellen: Heizungen, die mit einem Lüftungsprinzip arbeiten, erhitzen die Raumluft, wobei sich die Wärme gleichmäßig verteilt. Jedoch nimmt die warme Luft Feuchtigkeit auf. Schlecht isolierte Räume trocknen durch das Entweichen der feuchtwarmen Luft schnell aus. Das ist ein Problem beim Arbeiten mit Materialien, die zur Aushärtung Feuchtigkeit benötigen (z. B. bei Silikon). Gasheizstrahler erzeugen zwar etwas Wasser während der Verbrennung, doch kann das Entweichen von Feuchtigkeit damit nicht kompensiert werden. Wärmestrahler hingegen beheizen nur die umliegende Umgebung. Infrarotlicht wandelt sich beim Auftreffen auf Oberflächen in Wärmeenergie um und ist somit recht effektiv. Allerdings mangelt es hier an der Gleichmäßigkeit der Erwärmung von großen oder verwinkelten Flächen.

Wie im Zwischenbericht bereits diskutiert, beeinflussen die klimatischen Verhältnisse nicht nur die Verarbeitungseigenschaften sowie die Polymerisation der Top-Coat und damit die Qualität des Finishs, sondern sie wirken auch bei der Applikation von Primer und Haftvermittler (Tie-Coat). Damit bestimmen sie auch die Qualität der Haftung und die Zeitfenster der Überarbeitungsintervalle. Die untere aus dem Zwischenbericht entnommene Abb. zeigt noch einmal graphisch die Zusammenhänge.

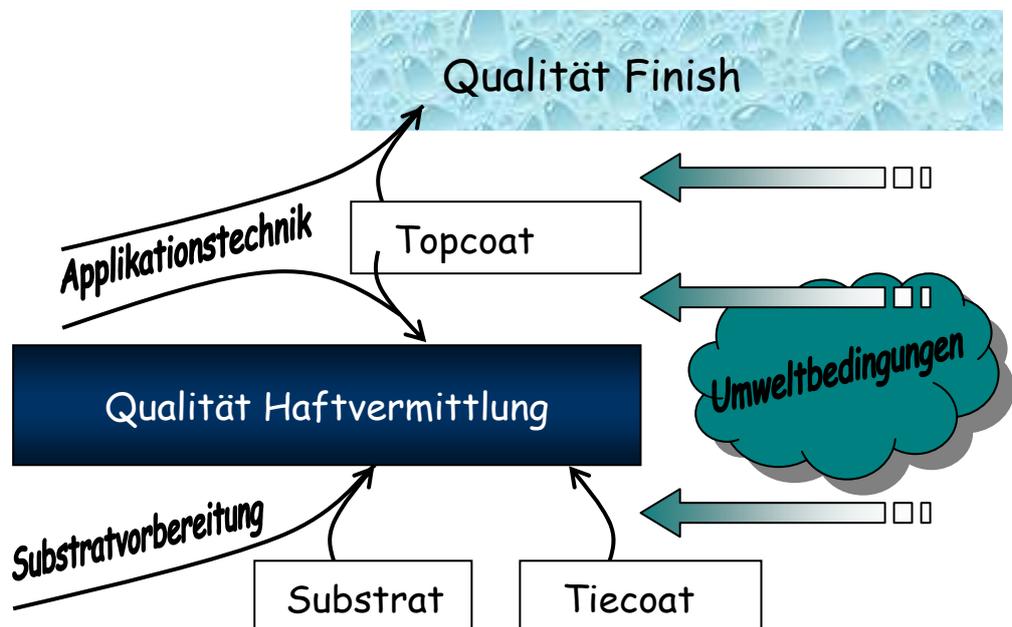


Abb. 7: Faktorenkomplex bei der Erzeugung eines Beschichtungs-Systems: Substrat, Tie- und Top-Coat sind die 3 Einheiten, die zusammengefügt werden und den Rahmen vorgeben: u. a. Verarbeitungsmöglichkeiten, Topfzeiten und Überarbeitungsintervalle.

Die beste Möglichkeit, diesem Problem gerecht zu werden, ist das Arbeiten in einer klimatisierbaren (d. h. gut isolierten) Halle. Die zum Projektabschluss durchgeführte Beschichtung wurde mangels Möglichkeiten mit einer Kombination aus Gas- und

Infrarot-Strahlern unter einer Einhausung durchgeführt, wobei die Temperatur der Rumpfoberfläche permanent kontrolliert wurde. Aufgrund des Aufwandes und des suboptimalen Wirkungsgrades wird diese Methode jedoch als ungeeignet für Routinearbeiten angesehen.

Neben der Substratoberfläche mussten auch die Pumpen und das Material temperiert werden. Dies geschah durch eine separate Einhausung und Beheizung des Gerätes. Während die Beheizung der Pumpen deren Vereisung entgegenwirkt, ist die Temperierung des Materials nur begrenzt sinnvoll. In einem bestimmten Temperaturbereich ist ein Minimum der Viskosität erreicht (siehe Abb. 6), was Vorteilhaft für die Senkung des Materialdruckes ist. Eine darüber hinaus gehende Wärmezufuhr kann das Material schnell schädigen. Des Weiteren verringert sich die Reaktionszeit nach der Mischung, so dass es zu raschen Aushärtungen auf der Mischstrecke kommen kann, die nicht mehr ausgespült werden können. In jedem Fall müssen die Komponenten gleichmäßig ($\pm 1^\circ\text{C}$) temperiert sein, um eine gleichmäßige Durchmischung und ein konstantes Spritzbild zu gewährleisten.

Ein weiterer Lösungsansatz, die Erwärmung der Spritzluft, ist sehr förderlich, um die Abkühlung des Materials während der Zerstäubung zu unterbinden. Diese Methode reicht zwar bei winterlichen Temperaturen nicht aus, wäre aber auch beim Arbeiten in wärmerer Umgebung sinnvoll. Da sich die Temperatur umgekehrt proportional zum Druck verhält, kommt es an der Düse zu einem starken Temperaturabfall, der durch die Erhitzung der Zerstäuberluft kompensiert werden kann. Das luftunterstützte Airless-Spritzverfahren ermöglicht eine recht genaue Übertragung des Materials, was durch die Erwärmung der Spritzluft noch verbessert wird. Dies lässt auch die Einstellung eines geringeren Materialdruckes zu. Durch diese Maßnahmen kommt es kaum zu Materialverlusten durch Overspray (siehe Abb. 9). Systeme zur Temperierung von Material, Zerstäuberluft und Düsen sind auf dem Markt in elektrisch betriebenen Varianten erhältlich. Die Nutzung der Abwärme für diesen Zweck – wie sie hier vorgenommen wurde – ist jedoch wesentlich kostengünstiger und darüber hinaus ökologisch und organisatorisch sinnvoll. Sie lässt ein Arbeiten unabhängig von Elektrizität und auch in Ex-geschützten Bereichen zu.

Die ökologischen Vorteile des temperierten, luftunterstützten Airless-Spritzverfahren sind:

- kaum Materialverluste durch Overspray
- Erniedrigung des Spritzdrucks und zusätzliche Verbesserung der Materialübertragung durch Erwärmung der Spritzluft
- Erwärmung der Spritzluft unabhängig von einer Stromquelle, Nutzung von Abwärme

Bei einer gut eingestellten Temperierung des gesamten Systems kann von einer Thixotropierung des Materials abgesehen werden. Diese Möglichkeit wurde im Zwischenbericht erwähnt, um die Schichtstärke in einem Arbeitsgang zu erhöhen. Die Verwendung von thixotropiertem Material in der Spritzapplikation hätte einen wesentlich höheren Arbeits- und Technikumfang zur Folge. Neben der aufwendigen Dispergierung der Zusatzstoffe zur Vorbereitung des Spritzmaterials, wäre die Zuführung des Materials zu den Pumpen über ein Rührwerk notwendig. Des Weiteren wären höhere Materialdrücke einzustellen, die vermutlich stärkere Pumpen erfordern würden.



Abb. 8: Oberflächenfinish mit temperaturbedingt variierendem Glanz



Abb. 9: Minimaler Overspray an der Folienwand

Das vorgestellte Spritzverfahren ermöglicht die rasche Aushärtung des Beschichtungsmaterials auf der Rumpfoberfläche, so dass mehrmaliges Überschichten in kurzen Zeitintervallen problemlos möglich ist. Damit können höhere Schichtstärken von bis zu 1 mm erreicht werden. Die hohe Schichtstärke ist für die Funktionalität der nicht ausschwitzenden Beschichtung von Bedeutung, da die Ablösung von Bewuchsorganismen in diesem Fall stärker über einen Schälprozess (Kendall 1971², Kohl & Singer 1999³) als über einen Schlupfeffekt (Brady & Singer 2000⁴) forciert wird. Am Bootsrumpf ergibt sich durch dieses Erfordernis eine vergleichsweise hohe Kante im Bereich des Wasserpasses (Abb. 10 oben). Um hier Beschädigungen und Wassereintritt zu vermeiden, ist beim Abschluss der Beschichtung besondere Aufmerksamkeit gefordert. Am Testobjekt wurde nach dem vorsichtigen Abschneiden der Abdeckfolie ein weicher Übergang zwischen Antihaftbeschichtung und oberem Rumpfbereich per Handapplikation geschaffen (siehe Bild 10 mittig und unten). Dabei wurden 2 Varianten ausprobiert (ohne und mit Wasserpass – Streifen), deren Langzeitstabilität sich im Laufe des Praxistests der Jolle zeigen wird.



Abb. 10: Wasserpass der Testbeschichtung;
oben: Kante nach dem Abziehen der Schutzfolie; mittig: weicher Übergang durch Nachbearbeitung; unten: Nachbearbeitung mit Wasserpass-Streifen.

² Kendall K (1971): The adhesion and surface energy of elastic solids. Journal of physics D 4: 1186-1195

³ Kohl J G, Singer I L (1999): Pull-off behaviour of epoxy bonded to silicone duplex coatings. Progress in organic coatings 36: 15-20

⁴ Brady R F, Singer I L (2000): Mechanical factors favouring release from fouling release coatings. Biofouling 15: 73-81

- Handapplikation-

Im Zwischenbericht wurde bereits die Möglichkeit der Handapplikation erwähnt. Diese Methode ist nicht nur für Abschlussarbeiten am Wasserpass des Rumpfes sinnvoll, sondern kann bei kleineren Ausbesserungen (Kratzer, Abplatzungen) eingesetzt werden. Eine Vollrumpfbeschichtung mittels Handapplikation wäre allerdings nicht zu empfehlen, da die Spritztechnik eine bessere Finish-Qualität ergibt. Wie dem Abschnitt 4.2. entnommen werden kann, sind die erfolgreichen, verfügbaren silikonbasierten Produkten zur ‚Do-it-yourself‘-Anwendung hauptsächlich für kleine Flächen (Bootspropeller) gedacht und enthalten zur leichteren Verarbeitung Lösungsmittel.

Die hier entwickelte manuelle Applikation begnügt sich mit dem lösungsfreien Material, welches über eine Handpistole dosiert und gemischt wird. Die Pistole und entsprechende Patronen sowie Statikmischer stehen nun in diversen Volumina zur Verfügung, die nach Bedarf eingesetzt werden können. Die Dosier-/ Mischeinheit kann in Kombination mit einem Kamm zum Verstreichen des Materials verwendet werden.

Auch bei dieser Technik gelten die oben erwähnten Überlegungen zur Temperierung. Die Thixotropierung soll hier allerdings als sinnvolle Ergänzung im Auge behalten werden, da das thixotrophierte Material in der Dosier-/ Mischeinheit problemlos zu handhaben ist und auch als Reparaturmethode für tiefere Risse etc. zur Verfügung stehen kann.

Die Machbarkeit der manuellen Applikation wurde in der Praxis im Mai 2010 an einer Schiffsschraube unter Beweis gestellt. Um eine ausreichende Schichtstärke zu erreichen, mussten mehrere Schichten aufgetragen werden. Dabei wurde zum Erreichen höherer Schichtstärken modifiziertes Material verwendet. Sicherheitshalber wurde der Schichtaufbau abschließend mit der ‚normalen‘ Topcoat versehen, da zu diesem Zeitpunkt die bewuchsverhindernde Wirkung der modifizierten Varianten noch nicht über eine volle Saison überprüft war (siehe folgenden Abschnitt zur Funktionalität). Die Beschichtung der Schraube wurde nach der Montage am Boot letztmalig auf Unversehrtheit geprüft (Sichtung war positiv, siehe Abb. 11). Leider konnte die Beschichtung keiner weiteren Inspektionen unterzogen werden, da sie während des Betriebs im Wasser großflächig mechanisch beschädigt und abgetragen wurde. Dies lag offensichtlich nicht am Versagen der Haftungsvermittlung, da Beschichtungsreste eine hervorragende Haftung zeigten.



Abb. 11: Per Handapplikation beschichtete Schiffsschraube

3.3. Funktionalität

Die Funktionalität der Beschichtung ist u. a. von der Qualität des Finishs abhängig – von der Oberflächenrauigkeit, die Einfluss auf die Oberflächenspannung nimmt. Im vorangegangenen Abschnitt wurde bereits zur (temperaturbedingten) Schwankungsbreite der Oberflächengüte bei der Spritzapplikation informiert. Grundsätzlich kann hier jedoch eine recht hohe Güte mit einem geschlossenen, spiegelglatten Finish erreicht werden. Der Feldtest der zum Ende dieses Projekts durchgeführten Ganzrumpfbeschichtung kann daher zeigen, inwiefern die Oberflächengüte die Funktionalität beeinflusst.

Unabhängig davon wurde das Material mit seinem optimalen Finish bereits in Form von Plattenexpositionen getestet. Dabei wurde die Topcoat nicht nur in ihrem ‚normalen‘ Zustand überprüft (wie im Zwischenbericht für 2009 dargestellt), sondern auch diverse Varianten der Thixotropierung und weitere Modifizierungen in einer Exposition in 2010 verglichen. Während die Substrate in 2009 zur ersten Abschätzung nur einem geringen Bewuchsdruck im Tidefluss Oste ausgesetzt waren, mussten die Proben ab 2010 wieder einem höheren Bewuchsdruck in Nordseehäfen entgegenhalten. Die Modifizierungen ließen in ihrer Bewuchsabwehr (entgegen den im Zwischenbericht dargestellten Erwartungen) keinen Unterschied zum Normalzustand der Beschichtung erkennen. Die Vergleichssubstrate (leicht besiedelbare rauhe Kunststoff-Platten) zeigten, dass der Standort erheblichen Bewuchsdruck durch Seepocken, Algen und Hydrozoen, später auch durch Miesmuscheln und Bryozoen bot. Bild 4 zeigt den Anblick der Proben zum Ende der Bewuchssaison im September. Der potentielle Bewuchs wird am unbeschichteten Probengestell sichtbar. Dort finden die Organismen hervorragenden Halt und neigen dazu, von hier aus und von den unbeschichteten Trägerkanten ausgehend die schwierigeren Oberflächen zu überbrücken. Doch auf den beschichteten Trägern konnten sie kaum Festigkeit erzeugen, so dass die Flächen nicht ganz geschlossen wurden (Abb. 12 oben). Die Reinigung der beschichteten Flächen erfolgte problemlos mit einem weichen Schwamm (Abb. 12 unten).



Abb. 12: Besiedeltes Gestell mit beschichteten Trägern bei der Inspektion zum Saisonende (September 2010);
oben: vor der Schwammreinigung; unten: nach der Schwammreinigung

Neben den eigenen Beschichtungsvarianten wurde ein auf dem Markt befindliches Produkt für Sportboote zum Vergleich in den Test aufgenommen. Die erste Inspektion fand im Juni 2010 nach 4 Wochen Auslagerungszeit statt. Nach der Schwammreinigung blieben auf dem zusätzlich getesteten Produkt Basalplatten von Seepocken zurück (blaue Probe in Abb. 13). Das deutete zum einen darauf hin, dass die jungen Seepocken (Basaldurchmesser bis 3 mm) auf dieser Beschichtung abgestorben waren. Zum anderen lässt diese Beobachtung auf eine geringere Antihaft-/ Fouling-Release- Wirkung gegenüber der eigenen Beschichtung schließen. Bei der zweiten Inspektion im September sah es auf allen Beschichtungen ähnlich aus. Die Seepocken hatten einen Basaldurchmesser von bis zu 12 mm erreicht und waren generell nur sehr leicht adhärirt. Der Überzug aus Mikroalgen und Bryozoen hatte jedoch eine höhere Festigkeit erreicht, so dass der Schwamm nun mit leichtem Druck geführt werden musste, um die Flächen zu reinigen. (Bryozoen kommen mit Silikonsubstraten generell recht gut zurecht und können hier auch relativ hohe Festigkeiten erreichen.)



Abb. 13: Das Vergleichsprodukt (blau) und die eigene Beschichtung nach der leichten Schwammreinigung im Juni:
Vergleichsbeschichtung mit Basalplatten von Seepocken

Der saisonale Test lässt bereits recht deutlich auf gute bewuchsverhindernde Eigenschaften der Beschichtung schließen, was eventuell mit einer leichten Reinigungsmethode kombiniert werden kann. Inwiefern und in welcher Frequenz Reinigungsmaßnahmen tatsächlich notwendig sind, ist neben der Oberflächengüte vom regionalen Bewuchsdruck am Liegeplatz und vom Aktivitätsgrad des Bootes abhängig. Die für den ersten Test ausgewählte Wanderjolle ist mit ihren 250 kg ein Boot, das typischerweise über die Saison nicht getrailert wird (ausgenommen Regattaboote) und einen festen Liegeplatz in Anspruch nimmt. Mit ihrem geringen Tiefgang (Schwertversion) ist sie häufiger in Binnenrevieren zu finden und dort einem nur leichten Bewuchsdruck ausgesetzt. Im marinen Milieu (Yachthafen Otterndorf) wird die Beschichtung dagegen einem stärkeren Bewuchsstress ausgesetzt. Vor allem soll hier aber die mechanische Belastbarkeit der Beschichtung im normalen Segelbetrieb überprüft werden. Als lokale Besonderheit ist dabei die an der Nordseeküste gängige Praxis des Trockenfallens und Einsinkens im Schlick zu beobachten. Dazu wurde ein Liegeplatz ausgewählt, auf dem der Rumpf bei Ebbe in den Schlick einsinkt. Typischerweise zeigen Bootsrümpfe an solchen Liegeplätzen einen starken Bewuchs in der Zone der Schlickgrenze.

Parallel zu diesem ersten Praxistest stehen weitere Rumpfbeschichtungen an, bei denen ebenfalls ein Monitoring im Betrieb vorgesehen ist.

3.4. Erneuerung/ Überschichtung

Es wurde bereits zur Halbzeit berichtet, dass eine Überschichtung der Topcoat mit dem gleichen Material möglich ist und dabei auch eine gute Haftung erzielt wird. Diese Vorgehensweise eignet sich bei Beschädigungen der Oberfläche, bei Kratzern. Das Stumpferwerden der Beschichtung durch Kratzer ist nach einigen Jahren Standzeit zu erwarten. Die Praxis wird zeigen, in welchem Umfang eine Säuberung der alten Topcoat notwendig ist. Während begrenzte Beschädigungen per Handapplikation repariert werden können, ist für eine großflächige Erneuerung die Spritzapplikation zu empfehlen.

Wenn bei einem größeren Ausmaß an Schäden eine Entschichtung erwogen werden sollte, so kann diese teilweise oder komplett vorgenommen werden. Hierzu stehen diverse Möglichkeiten zur Auswahl: abrasive elektrische Handgeräte, Schaber, etc. (Abb. 14 zeigt eine mit Schabern freigelegte Reparaturfläche). Diese Methoden sind recht schonend und sind bei kleineren Yachten auch mit einem tolerierbaren Zeitaufwand durchführbar. Bei Kunststoff- und vor allem bei Holzbooten sind wegen der Empfindlichkeit des Materials die genannten Methoden ohnehin empfehlenswert. Darüber hinaus ist die komplette Entschichtung auf Stahlrümpfen mittels Wasserhöchst- oder Sandstrahlen möglich. Das Hochdruckreinigen bis zu 150 bar (was der maximalen Leistung von Haushalts-HD-Reinigern entspricht) verursacht keine Schädigung oder Ablösung der Beschichtung. Das bietet eine gewisse Sicherheit für den Fall höherer Belastungen des Rumpfes oder auch für die gewohnheitsmäßige Waschung von Booten mit HD-Reinigern nach dem Ende der Saison. Der Hochdruck ist zum Reinigen jedoch nicht nötig; ein weicher Schwamm genügt (siehe Abschnitt 3.3. Funktionalität).



Abb. 14: Eine mit Schabern freigelegte Reparaturfläche

Nach der Entschichtung kann auf dem vorbereiteten Haftgrund die Beschichtung neu aufgebaut werden. Dabei kann ein entschichtetes Teilstück problemlos wieder neu eingefügt werden. Doch ist aufgrund der hohen Schichtstärke die Bearbeitung der Fügekanten mittels Schäftung recht aufwendig. Die Abb. 15 zeigt eine gut eingeebnete ‚Naht‘ der zuvor entschichteten Fläche.



Abb. 15: Gut eingebnete „Naht“ (siehe Pfeil) der ausgebesserten Reparaturfläche

3.5. Meilensteine und Ergebnisse in der Machbarkeitsstudie

Die Ergebnisfindung, die in den obigen vier Punkten des Projektinhalts recht klar erscheint, war nicht von Anfang an in dieser Form absehbar, sondern mit diversen Risiken behaftet. Das zeigt die Tabelle 1 aus der Projektplanung zu den gesetzten Meilensteinen. Sie soll hier noch einmal mit Ergänzungen um die Ergebnisse erscheinen:

Schritte	Meilensteine	Risiko	Ergebnisse
1. Materialverträglichkeits-/Haftungstest	Verfügbarkeit von Tie-Topcoat Systemen für verschiedene Substrate	Keine zufriedenstellende Tiecoat <ul style="list-style-type: none"> • geringe Haftung • Blasenbildung bei Reaktion mit Topcoat 	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Beschichtungssystem aus Primer, Haftvermittler und Topcoat für alle Substrate • Materialverträglichkeit gewährleistet • Hervorragende Haftung • Entschichtbarkeit gewährleistet
2. Applikationsmethode	Verfügbarkeit der Methoden von <ol style="list-style-type: none"> a) Sprühapplikation für Topcoat-(Versionen) b) Sprühapplikation für Tiecoat-Versionen c) Handapplikation für Topcoat-(Versionen) d) Handapplikation für Tiecoat-Versionen 	<ol style="list-style-type: none"> a/ b) Sprühapplikation nicht möglich c/ d) Handapplikation nicht möglich 	<ol style="list-style-type: none"> a) Sprühapplikation für Topcoat entwickelt b) Sprühapplikation für Tiecoat möglich, aber nicht sinnvoll c) Handapplikation für Topcoat entwickelt d) Handapplikation für Tiecoat ohne Besonderheiten

3. Effektivitätskontrolle	a) Labortests <ul style="list-style-type: none"> • Elastizitätsmodul • Finish (Oberflächenrauigkeit/ ~ welligkeit • Oberflächenenergie b) Freilandtests <ul style="list-style-type: none"> • Haftkräfte von Organismen 	a/ b) Haftkräfte von Organismen zu hoch (Median > 50 kPa), weil E-Modul, Finish und/ oder Oberflächenenergie außerhalb des akzeptablen Bereichs	<ul style="list-style-type: none"> • E-Modul und Reißwiderstand wie gewünscht • Haftkräfte von Organismen ausreichend gering • Weitere Tests in Abhängigkeit von der technikspezifischen Oberflächen-Qualität geplant
4. Erneuerungs- und Entschichtungsverfahren	a) Entschichtungsverfahren ohne Beeinträchtigung des Substrats b) Erneuerungsverfahren – Varianten und Abwägung des Aufwands	a) Entschichtung nur unter starker Schädigung des Substrats möglich b) Reparatur von kleinen Flächen nicht möglich/ zu aufwendig	a) <ul style="list-style-type: none"> • Schonende Entschichtung mit Handgeräten möglich • Größere Techniken (Strahlen) vor allem für Aluminium- und Stahl-Rümpfe geeignet b) Keine Einschränkungen: <ul style="list-style-type: none"> • Größflächiges Überschichten per Spritztechnik • Reparatur von kleineren Schäden per Handtechnik

Tabelle 1: Meilensteine, Risiken und Ergebnisse

(modifiziert aus Projektantrag, Tab. 2: Meilensteine und Risikomanagement)

1. Der kritischste Moment wurde in der Projektplanung im 1. Schritt - der Findung von Tie-Topcoat-Systemen für die verschiedenen Substrate – gesehen. Hier konnte jedoch eine sehr günstige Lösung mit einem Beschichtungssystem für alle Bootsbaumaterialien gefunden werden. Da die Eigenschaften der neuen Topcoat-Variante gleich auch im Hinblick auf die Applikationstechnik gewählt wurden und diese Wahl sich als tatsächlich einsetzbar für die Spritztechnik erwies, entfiel eine spätere Modifizierung des Beschichtungssystems. Durch die Verwendung des Beschichtungssystems aus Primer, Haftvermittler und Topcoat wird nicht nur die Haftung gewährleistet, sondern auch die Entschichtbarkeit.

2. Ein geringeres Risiko wurde in der Applikationsmethode gesehen, doch war gerade dieser Schritt der schwierigste der Projektphase. In den vorangegangenen Abschnitten war ausschließlich von der Applizierbarkeit der Topcoat die Rede, denn es bedurfte für Primer und Haftvermittler keiner Entwicklungsarbeit. Natürlich kann auch der auf Epoxydharz basierende Primer gespritzt werden. Doch ist der Wartungsaufwand für die Spritztechnik recht hoch, so dass unter Berücksichtigung der relativ wenigen zu beschichtenden Quadratmeter auf einem Sportboot der Auftrag mittels Rolle wesentlich effektiver ist. Im Gegensatz zur Topcoat sind Primer und Haftvermittler nicht lösungsmittelfrei. Doch sind die benötigten Schichtdicken sehr gering, so dass – auch unter Berücksichtigung der Applikationsmethode – der Verzicht auf Lösungsmittel nicht sinnvoll erscheint.

3. Erste Effektivitätskontrollen führten zu guten Ergebnissen für die Topcoat, auch in modifizierten Varianten. Die Materialeigenschaften zeigen einen guten Kompromiss zwischen Bewuchsverhinderung und mechanischer Stabilität (für nähere Informationen zu diesem

Problem siehe Griffith & Bultman (1997)⁵, Wiegemann (2004)⁶). Das Ausmaß einer möglichen Einschränkung in der Performance bei einem applikationsbedingtem Spritzbild konnte noch nicht ermittelt werden. Erfahrungen hierzu können bei dem geplanten Monitoring gesammelt werden.

4. Es zeigte sich, dass das Entschichten mit einfachen oder elektrischen Handgeräten auf recht schonende Art und Weise möglich ist. Auf Aluminium- und Stahlrümpfen werden auch größere Techniken (Strahlen) möglich sein. Der Einsatz dieser Techniken auf GFK und Holz ist ebenfalls grundsätzlich machbar, jedoch aufgrund möglicher Substratbeeinträchtigung abzuwägen. In diesem Bereich präsentieren sich Firmen mit entsprechendem Know-How auf dem Markt.

Die Erneuerung der Beschichtung ohne vorheriges Entschichten ist bei kleineren Schäden problemlos möglich – sowohl großflächig durch Überschichtung im Spritzverfahren als auch durch die Entnahme und Reparatur von kleineren Flächen per Handapplikation.

3.6. Handling/ Organisation/ Infrastruktur

Während die schwere Applikationstechnik im Laufe des Projekts weiter an Bedeutung gewann und mit deren Komplexität sich die Handhabung im Werftbetrieb herauskristallisierte, erweiterte sich der Projektinhalt um das Handling von Technik, die Organisation von Arbeitsabläufen und die dafür notwendige Infrastruktur.

Obwohl für die bisherigen Versuche lediglich mit flachen, leichten Bootsrümpfen bis zu 300 kg gearbeitet wurde, bedurften auch diese der Maßnahmen, die zu einem späteren Zeitpunkt mit Dickschiffen durchgeführt werden müssen. Dazu gehört das Slippen, Trailern, Manövrieren und Pallen der Rümpfe. Als besondere – für jeden Rumpftyp spezifische Aufgabe – kommt das Positionieren für ein möglichst unterbrechungsfreies Spritzen hinzu. Diese Anforderung ist nicht unwesentlich (wie man im Vergleich zu anderen Lacksystemen vermuten könnte), da hier mit höheren Schichtstärken gearbeitet wird. (Die Einebnung kleinerer Flächen zu restlichen Beschichtung ist aufgrund der Schichtstärke vergleichsweise aufwendig.)

Für diese Aufgaben ist entsprechendes Gerät zum Heben und Manövrieren erforderlich. Bisher konnten die Arbeiten mit kleineren Trailern und kleinem Hebwerkzeug durchgeführt werden, doch hat das Nachdenken über größeres Gerät als Anschaffung und/ oder Nutzung in Kooperation eingesetzt und wird als erforderliche zukünftige Investition gesehen.

Ähnliches gilt auch für eine Infrastruktur zum Waschen und Strahlen der Rümpfe. Auch hier gäbe es intensiver abzuklopfende Kooperationsmöglichkeiten.

Im Hinblick auf die Applikationstechnik wurden die eigenen Möglichkeiten immens erweitert, wodurch auch die Wartung, Fehlersuche und Reparatur von Gerätschaften in eigener Hand liegt. Darüber hinaus wurden regionale Kontakte zu Fachkompetenzen geknüpft. Dies ist schon während der Entwicklungsarbeit als nicht zu unterschätzende Bereicherung ins Gewicht gefallen und wird während des täglichen Geschäfts an Bedeutung gewinnen. Aus dieser Erfahrung wird die ständige Weiterentwicklung der eigenen oder kooperativen Möglichkeiten in den o. g. Punkten als Priorität gesehen. Darüber hinaus ist die Unabhängigkeit von der Saisonalität in den hiesigen klimatischen Verhältnissen als wesentlich einzuschätzen, welche durch die Einrichtung der isolierten Lackierhalle erreicht werden konnte.

⁵ Griffith J R, Bultman JD (1997) Exterior hull coatings in transition: antifouling paints and fouling release coatings. Naval Research Reviews 4: 35-38

⁶ Wiegemann M (2004): Untersuchungen zu Haftmechanismen an *Balanus improvisus* Darwin und weiteren Balanomorpha auf nichttoxischen Antihafbeschichtungen. Dissertation, Universität Greifswald

Zusammenfassung der Projektinhalte

Alle in der Projektplanung genannten Schritte konnten erfolgreich abgehandelt und die Machbarkeit geklärt werden. Das geplante substratspezifische Beschichtungssystem wurde auf ein einziges vereinfacht, das für alle gängigen Bootsbaumaterialien anwendbar ist. Dabei konnte auch die Entschichtbarkeit und Erneuerung gewährleistet werden. Für die schwierig zu handhabende Topcoat wurde sowohl eine Methode zur Spritzapplikation mit schwerem Gerät als auch eine einfache Handapplikation entwickelt. Die Topcoat und ihre Applikation sind komplett lösungsmittelfrei gestaltet.

4. Weitere Geschäftsentwicklung

4.1. Vermarktungswege

Der obige Abschnitt deutet bereits auf die Wichtung der Applikationsmethoden hin. Die Projektplanung ging von einer abschließenden Bewertung zur Tauglichkeit und der Einsatzbreite der Beschichtung als Produkt aus. Dabei sollten sich die Möglichkeiten zur Vermarktung als ‚Do-it-yourself‘- oder als ‚Full-Service‘-Produkt herauskristallisieren.

Von der experimentellen Seite her zeigte sich, dass beide Applikationsformen – Handapplikation und Sprühtechnik – grundsätzlich möglich sind. Dabei wird die Sprühtechnik eindeutig zum effektiven und qualitativ hochwertigen Beschichten von Flächen favorisiert. Die Handapplikation stellt dagegen eine gerätetechnisch weniger aufwendige Alternative für kleine Flächen und zur Ausbesserung von Beschädigungen dar.

Während die Handhabung der komplexen Spritztechnik im Hochdruckbereich in den Werftbetrieb gehört, kann die Handapplikation mit etwas Erfahrung auch in Eigenregie durchgeführt werden. Ob für diese Nische eine Vermarktung anzustreben wäre, wird sich erst mit der Absatzstärke des Produkts als Ganzrumpfbeschichtung herausstellen.

Zur Qualitätssicherung ist bei einer Umstellung auf das Silikon-Produkt das Entfernen der Altantifouling eine wesentliche Voraussetzung (die Gründe dafür wurden bereits in der Projektplanung benannt). Hierin liegt gleichzeitig die große Chance, die zumeist giftigen Alt-Antifouling bei dieser Gelegenheit aus dem Verkehr zu ziehen. Diese können im Werftbetrieb umwelt- und gesundheitsfreundlich entfernt und entsorgt werden. Für den Yachteigner ist diese Maßnahme sinnvoll, wenn eine komplette Überholung des Unterwasserschiffs notwendig ist (z. B. bei Osmose- oder Korrosionsschäden).

Damit wird deutlich, dass als Vermarktungsoption die Beschichtung im Werftbetrieb anzustreben ist. Günstig wäre dabei die eigene Beschränkung auf die Lackierdienstleistung während die sonstigen Arbeiten rund um das Bootshandling und die Vorbereitung des Rumpfes durch einen Werftbetrieb oder in Kooperation mit diesem angeboten wird. Auf diese Weise könnten in den folgenden 12 Monaten Referenzen geschaffen werden. In dieser Phase sollte auch Zeit für Service und Monitoring zur Verfügung stehen, um das Feedback der Anwender aufnehmen zu können. Dabei sollte auch verstärkt über periodische Reinigungen der Rumpfbeschichtungen nachgedacht werden und über die damit verbundene Einrichtung der Dienstleistung.

Der in der Projektplanung gedanklich bevorzugte Vermarktungsweg in Form von Kooperationen mit Werften soll hier also weiter verfolgt werden. Gegenüber dem Aufbau eines autarken Applikationszentrums ist diese Option weniger kapitalintensiv und damit risikoärmer. Als besonderer Vorteil wird gesehen, dass das eigene Know-how in Ergänzung und nicht isoliert angeboten werden kann.

Die Art des Aufbaus der Applikationstechnik – mit einer wenig monströsen Spritzanlage, einem mobilen Dieselkompressor und der Unabhängigkeit von Elektrizität bei entsprechenden Außentemperaturen) ließe auch eine gewisse Mobilität im Sommer zu. Diese Option erweitert die Möglichkeiten zu überregionalen Aktivitäten und hält theoretisch auch Arbeiten in Ex-geschützten Bereichen offen.

Mit der folgenden Produkteinführung wird auch die Präsentation der Neuentwicklung starten. Über Mundpropaganda und Referenzen hinausgehend soll die Öffentlichkeitsarbeit durch die Information in Medien einen weiteren Kreis von Interessenten erreichen. Die Gestaltung einer Produkt-Homepage wurde in Angriff genommen (siehe Anhang), wobei die Präsentation mit der Weiterentwicklung des Produkts kontinuierlich ausgebaut.

4.2. Einordnung des Produkts in die aktuelle Palette für umweltfreundliche Bewuchs-verhinderung

Auf www.bewuchsatlas.de wird eine aktuelle Produktliste zur Bewuchsverhinderung für den deutschen Markt geführt. Neben den biozidfreien Beschichtungen werden hier auch die technischen Bewuchsschutzsysteme erfasst: Bootslifte, Waschanlagen, Folien und elektrische Installationen. Diese Systeme sind technisch recht aufwendig und in der Regel stationär gebunden (eine Ausnahme wäre die elektrische Installation am Schiff). Generell können sie jedoch einen hervorragenden Schutz bewirken. Daneben werden die klassischen, Beschichtungen mit 20 umweltfreundlichen Produkten von 10 Firmen gelistet. Davon wurden 10 Produkte in die Gruppe der Beschichtungen mit anorganischen Zinkverbindungen eingestuft. Diese wirken durch eine starke Polierate und müssen regelmäßig erneuert werden. Der Eintrag von Stoffen in den Wasserkörper ist hier immer gegeben und die Umweltrelevanz stets in Abhängigkeit von der Degradation und dem Akkumulationspotential zu diskutieren. Die anderen 10 Produkte der Kategorie Antihafbeschichtungen werden zum Zweck des Vergleichs mit dem eigenen System im Folgenden genauer unter die Lupe genommen:

Produkt	Unternehmen	Typ/ Basis	Bewuchsdruck	Quelle	Produkt-Webseite
1. Rumpfbeschichtungen					
<i>Neosil</i>	Epifanes	Silikon	schwer	→	www.neosil.nl
<i>Haifischhaut</i>	Vosschemie	Silikon	K. A.	→	www.haifischhaut.de
<i>Infinale 100</i>	Innoskins	K. A.	leicht	→	www.innoskins.de
<i>Slip-Way Antifouling D92</i>	v. Höveling Yachtfarben	PTFE	leicht	→	www.hoeveling.de
<i>Biotard</i>	Durosol AG	Wachs	leicht	Bootsmesse Düsseldorf 2008	www.biotard.de (Webseite im Aufbau)
2. Propellerbeschichtungen					
<i>Seajet Pellerclean</i>	Chugoku	Silikon	k. A.	www.trilling-relations.de/presse/?p=184	www.pellerclean.co.nz
<i>YC Prop Spray</i>	Vosschemie	Wachs	k. A.	→	www.yachtcare.de
3. Sonstige als biozidfreie Antihaf-Produkte gelistete Rumpfbeschichtungen					
<i>Cruiser Future/ Eco</i>	International	Erodierend, Zinkoxid (10-25%)	leicht	Sicherheitsdatenblatt	www.yachtpaint.com
<i>Werdol Kupferfrei</i>	Epifanes	Erdöl (10-25%),	leicht	Sicherheitsdatenblatt	www.epifanes.com

		Bleioxid (0,27%)			
<i>Werdol Silverpaint Medium</i>	Epifanes	Erdöl (10- 25%),	sehr leicht	Sicherheitsdatenblatt	www.epifanes.com

Tabelle 2: Biozidfreie Antihafbeschichtungen auf dem europäischen Markt
(Listung nach www.bewuchsatlas.de mit Ergänzungen)

Die obige Tabelle könnte den Eindruck erwecken, dass die Gruppe der biozidfreien Antihafbeschichtungen am ehesten für den Einsatz im Süßwasser mit geringem Bewuchsdruck geeignet ist. Eine Ausnahme dabei bilden allerdings die silikonbasierten Beschichtungen, die hier mit 3 auf dem Markt befindlichen Produkten angegeben werden. Der Einsatz von Neosil (Vertrieb durch Epifanes) wird für Gebiete mit starkem Bewuchsdruck beworben. Eine ähnliche Performance kann von Seajet Pellerclean (Chugoku) erwartet werden.

Alle in der obigen Tabelle aufgeführten Produkte werden zur Selbstapplikation für Bootseigner angeboten. Darin besteht ein wesentlicher Unterschied gegenüber dem MAR_eCOAT-System. Aus dem Blickwinkel der Vermarktung könnte hierin ein Nachteil gesehen werden. Beim genaueren Hinsehen sind jedoch alle Silikonprodukte aufgrund dieser Strategie mit Einschränkungen verbunden: Die Do-it-yourself-Produkte kommen nicht ohne den Zusatz von Lösungsmitteln aus. Und die Qualität der Beschichtungen ist stark von den Applikationsbedingungen und dem Geschick des Applikateurs abhängig. Zudem räumte von der Linden (Entwickler von Neosil) bereits ein, dass eine kühlere Wetterlage zu Schwierigkeiten bei der Haftvermittlung führt (Tagung ‚Unterwasserreinigung‘, Osnabrück, 12.3.2011). Auch die eigenen Experimente ließen diesen Schluss zu, was als eine der Motivationen für eine temperierbare Lackierhalle zu sehen ist. Die stark beworbene Haifischhaut hat Schwierigkeiten mit ihrer Performance (u.a. können die ‚Haischuppen‘ – Werbeträger des Produkts - nicht vernünftig ausgerichtet werden) und wird nach einer Aussage der Entwickler möglicherweise wieder vom Markt genommen (private Korrespondenz). Seajet Pellerclean wird von vornherein nur in Kleinstgebunden für die Applikation an der Bootsschraube angeboten. Chugoku/ Kansai hatte vor ca. 10 Jahren versuchsweise Ganzrumpfbeschichtungen per Handapplikation an Sportbooten durchgeführt und nach Regressfällen diese Option wieder fallen lassen. Die Beschichtungsqualität reichte offenbar nicht und die Anhaftung von Organismen wurde – trotz verminderter Haftkräfte – damals als unüberwindbares Vermarktungsrisiko gesehen. Ergänzend sei hier die ebenfalls vornehmlich für Bootspropeller in den Handel gebrachte Silikonbeschichtung *Veridian* (International) genannt, das im deutschen Handel nicht mehr erhältlich ist (deshalb auch nicht gelistet).

Die 2 übrigen als tatsächliche Antihafbeschichtungen definierbaren Rumpfbeschichtungen auf Wachsbasis bzw. mit PTFE-Beimischung sind lediglich für Gebiete mit geringem Bewuchsdruck geeignet. Das Wachs, das in einer auf 50°C zu erwärmenden Sprühflasche geliefert wird, zeigt außerdem Schwierigkeiten bei der anwenderfreundlichen Verarbeitung. Die Webseite von *Biotard* ist zurzeit nicht aktiv. Das Sprühwachs der Vosschemie für die Propeller-Anwendung scheint dagegen besser zu funktionieren. Wachse zeigen in ihren Fouling-Release-Eigenschaften eine geringere Performance als Silikone und müssen häufig (je nach Aktivität der Yacht mehrmals pro Saison) erneuert werden.

Es verbleiben drei Produktlistungen, die aufgrund der Inhaltsstoffe m. E. nicht dem Antihafbereich zugeordnet werden können. Sie sind ohnehin nur bei leichten bis sehr leichten Bewuchsverhältnissen einsetzbar.

Die biozidfreien Antihafbeschichtungen stehen mit dieser Bilanz nicht besonders gut da. Möglicherweise könnte die Änderung des Vermarktungsweges als ‚Full-Service-Produkt‘

eine Wende für die vielversprechenden silikonbasierten Beschichtungen im Yachtbereich herbeiführen. Sie wären mit der Verbesserung der Applikationsweise nicht nur in einer entsprechenden Qualität lieferbar, die eine hervorragende Performance gewährleistet, sondern würden auch für einen Langzeitschutz sorgen können. Das silikonbasierte System *Seajet* für Bootsschrauben garantiert als einzige biozidfreie Beschichtung eine Standzeit von 3 Jahren. Die Funktionalität des MAR_eCOAT-System soll ebenfalls für mindestens diese Zeitspanne garantiert werden. Dabei wird die Lebensdauer lediglich durch Beschädigungen oder durch die Akkumulation von Mikroläsionen beschränkt. Theoretisch sind also weit längere Standzeiten denkbar. Neben diesem deutlichen Vorteil gegenüber polierenden Systemen wäre mit dem MAR_eCOAT-System der ökologische Vorteil gegeben, den Eintrag von Stoffen in das Wasser gänzlich zu vermeiden. Dies ist nicht bei allen Silikonbeschichtungen der Fall. Das Ausschwitzen bzw. Ausleachen von Beschichtungsbestandteilen ist z. B. von *Veridian* bekannt. Mit diesem Ausschwitzen ist auch eine rasante Abnahme der Funktionalität schon innerhalb eines Jahres verbunden, welche gravierender ist als der Performance-Verlust durch Mikroläsionen (Wiegemann 2004)⁷.

Ähnlich wie die Antihafbeschichtungen sind die biozidfreien selbstopolierenden/ erodierenden Beschichtungen sorgfältig hinsichtlich des Operationsprofils des Schiffes auszuwählen (siehe Tabelle 3). So gibt es zwar Produkte für mittlere (Nord- und Ostsee) und schwere Bewuchsverhältnisse, doch sind diese mit Auflagen verbunden: Non-Stop Eco (Jotun) und Seajet 036 Shogun Eco (Chugoku) funktionieren nur bei Yachten mit einem hohen Aktivitätsgrad und ab 10 kn. Sie sind also für den Durchschnitts-Segler und gemütliche Motorboote nicht geeignet. Die Serie LeFant (von der Linden GmbH) dominiert die Beschichtungsgruppe mit zahlreichen Produkt-Variationen unterschiedlicher Polierrate. Allen gemein ist die Bildung einer hydroviskösen Grenzschicht zum Wasserkörper. Die härteste Variante LeFant X3 Racing ist zwar für alle Gewässer geeignet, doch verlangt sie nach regelmäßiger Säuberung und Erneuerung. LeFant Allcoast und SPF Mark 5 erreichen dagegen durch eine sehr hohe Polierrate eine Eignung für den Einsatz bei mittlerem Bewuchsdruck. Sie müssen nach einer Saison erneuert werden. Die übrigen Produkte – darunter zwei auf der Freisetzung von Zink-Ionen beruhender kathodischer Bewuchsschutz für Aluminiumrümpfe (Meta Chantier Naval SARL) und ein erodierendes, Wasserstoffperoxid freisetzendes System (Epifanes) können nur bei leichtem Bewuchsdruck eingesetzt werden. Es lässt sich für diese Beschichtungsgruppe zusammenfassend sagen, dass einige Produkte für die Nord- und Ostsee-Reviere geeignet sind (vornehmlich aus der LeFant-Serie), diese jedoch regelmäßig kontrolliert und erneuert werden müssen).

Produkt	Unternehmen	Typ/ Basis	Bewuchsdruck	Quelle	Produkt-Webseite
1. Rumpfbeschichtungen					
<i>Foul-away</i>	Epifanes	erodierend, Wasserstoffperoxid freisetzend	leicht	www.flints.co.uk/pdf/epifanesfoulaway.pdf	-
<i>Inversalu</i>	Meta Chantier Naval SARL	pH-Änderung durch Zn-Ionen, kathodischer Schutz	leicht	www.antifouling-shop.com/showthread.php?t=830	www.inversalu.de (Webseite im Aufbau)
<i>Metagrip</i>			leicht	www.antifouling-shop.com/showthread.php?t=210	

⁷ Wiegemann M (2004): Untersuchungen zu Haftmechanismen an *Balanus improvisus* Darwin und weiteren Balanomorpha auf nichttoxischen Antihafbeschichtungen. Dissertation, Universität Greifswald

<i>LeFant TF</i>	von der Linden GmbH	hydroviskos, selbst-polierend	leicht	→	www.vonderlinden.de
<i>LeFant SPF Mark 5</i>			mittel		
<i>LeFant Allcoast</i>			hoch		
<i>LeFant X3, Racing</i>					
<i>Non-Stop Eco</i>	Jotun	Selbst-polierend	hoch	www.antifouling-shop.com/showthread.php?t=840	www.jotun.com
<i>Seajet 036 Shogun Eco</i>	Chugoku	selbst-polierend	mittel	www.antifouling-shop.com/showthread.php?t=121	www.seajet.com
2. Propellerbeschichtungen					
<i>LeFant P&D</i>	von der Linden GmbH	hydroviskos, selbst-polierend	k. A.	→	www.vonderlinden.de

Tab. 3: Biozidfreie erodierende/ selbstpolierende Beschichtungen auf dem europäischen Markt (Listung nach www.bewuchsatlas.de mit Ergänzungen)

Nicht erwähnt blieben hier bisher die nanotechnischen Materialien von denen sich nach einer aktuellen Studie (Watermann et al. 2010)⁸ zahlreiche zur Bewuchsverhinderung auf dem Markt befinden. Nach dieser Studie können die „Nanoversiegelungen auf der Basis von self-assembled monolayers“ im Sportbootbereich noch nicht als Alternative zu den bisherigen Produkten angesehen werden. Es liegen hierzu kaum Studien über die Wirksamkeit und die Ökotoxikologie vor. Des Weiteren sind auf den Produkten weder Spezifizierungen zu den enthaltenen Nanomaterialien noch verwendete Biozide deklariert. In der genannten Studie wird vermutet, dass die nächste Generation dieser Gruppe möglicherweise effektiver und technologisch ausgereifter sein wird.

Momentan kommen also in der Gruppe der biozidfreien Beschichtungen lediglich einige stark selbstpolierende Systeme oder Beschichtungen in Kombination mit regelmäßigen Reinigungen für den Einsatz im marinen Bereich in Frage.

Der im obigen Abschnitt zuletzt genannte Punkt der Kombination von bewuchsverhindernder Beschichtung und Reinigung sollte auch für die silikonbasierten Beschichtungen näher ins Auge gefasst werden. Der Konflikt zwischen den einander entgegengesetzten Bestrebungen von mechanischer Festigkeit und Funktionalität bei diesem Beschichtungstyp könnte durch eine gerade genügend hohe mechanische Festigkeit (bei ausreichender Funktionalität) in Kombination mit einer sanften Reinigungsmethode erzielt werden. Bei der Entwicklung des MAR_eCOAT-Systems liefen die Bestrebungen darauf hinaus diesen optimalen Punkt zu finden. Da es bis dato keinen Test gibt, der die Beanspruchungen im Yachtbetrieb widerspiegelt, kann erst die Praxis zeigen, ob die mechanische Festigkeit genügt. Zu den Einfluss nehmenden Faktoren gehören das Zuwasserlassen bzw. Slippen des Bootes (häufig mittels Gurten, aber auch mittels Slipwagen) und in den Wattgebieten das Trockenfallen (im freien Watt oder auch im Tidehafen). Hinzu kämen Grundberührungen und Kollisionen mit Dalben, Hafenanlagen und Sonstigem sowie Eisgang. Bei den letztgenannten Punkten kann jedoch keine herkömmliche Antifouling schadlos bleiben, so dass diese Schäden eher in Hinblick auf eine vergleichsweise aufwendige Reparatur zu betrachten wären. Die mechanische Belastung durch die Reinigungsvorgänge kann dagegen durch die Wahl der

⁸ Watermann B, Dähne B, Fürle C (2010): Einsatz von Nanomaterialien als Alternative zu biozidhaltigen Antifouling-Anstrichen und deren Umweltauswirkungen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau. Text 40/2010

Methode recht gering gehalten werden (z.B. per Hand und Schwamm). Ob die Fahrt durch eine Reinigungsanlage eine bessere, schnellere und unkomplizierte Variante darstellen würde und zugleich auch schonend genug gestaltet werden könnte, wäre zu testen.

4.3. Technisches und wirtschaftliches Risiko im weiteren Geschäftsaufbau

Die technischen Risiken wurden mit dem erfolgreichen Abschluss dieses Projekts weitestgehend ausgeschlossen. Lieferschwierigkeiten in Bezug auf Material und Technik können aufgrund der erweiterten Manövrierfähigkeit umgangen werden. Die Möglichkeit, mit zurückhaltenden Investitionen in die nächste ca. 12-monatige Phase der Produktpräsentation und Referenzengewinnung eintreten zu können, vermindert das finanzielle Risiko. Konkurrenzdruck wird in der Markteinführungsphase (mit geringem Kundenumfang im Reparaturbereich) noch nicht erwartet. Die weitere Entwicklung in dieser Hinsicht bleibt Spekulation.

Abzuwarten ist die Resonanz der Kundschaft. Es handelt sich um ein recht neuartiges Material mit einer von dem bisher Gewohnten abweichenden Handhabung und Eigenschaften. Insbesondere die möglicherweise notwendigen Reinigungsprozeduren könnten sich als Hemmschuh erweisen. Dem sollte im Rahmen einer kundennahen Produktbegleitung durch das Anbieten entsprechender Serviceleistungen entgegengewirkt werden.

Der relativ hohe Anschaffungspreis ist allerdings kein geeignetes Lockmittel, so dass die Kundschaft nur durch die Performance der Beschichtung und deren Langzeitwirkung überzeugt werden kann. Im Zusammenhang mit der Langlebigkeit der Beschichtung ist eine Sensibilisierung der Eigner zum schonenden Umgang gefragt.

Die Bereitschaft von Bootseignern, mit den Bedürfnissen von bewuchsverhindernden Beschichtungen zu kooperieren, scheint dort erhöht zu sein, wo der Bewuchsdruck erheblich ist und gesetzliche Beschränkungen zum Einsatz von Bioziden durchgesetzt werden. Allerdings – so die nachvollziehbare Aussage Stephan Utzelmanns vom Deutschen Motoryachtverband (Tagung ‚Unterwasserreinigung‘, Osnabrück, 12.3.2011) – sind weniger die rechtlichen Bestimmungen als die Einsicht und das Verständnis der Betroffenen ein Garant für umweltgerechte Handlungsweisen. Die für Sportboote seit 1989 verbotenen TBT-SPCs wurden beispielsweise noch bis nach 2000 von Privatskippern verwendet. Diese Praxis ebte erst deutlich mit dem Verbot in der Berufsschiffahrt und der Reduzierung der Produktion dieser Beschichtungsstoffe ab (private Korrespondenz). Produktbegleitende mediale Aufklärung und Information ist daher ein unbedingtes Muss.

Eine Möglichkeit, den Anreiz zum Umstieg auf das umweltfreundliche Antihafsystem zu erhöhen, könnte in der Bewerbung der Langlebigkeit der Beschichtung liegen. Anzupeilen wäre eine Standzeit von 5 Jahren. Der persönliche Anreiz für Bootseigner läge dann nicht nur in einem geringeren Arbeitsaufwand im Winterlager und in einer reduzierten Gesundheitsgefährdung durch wegfallende Schleif- und Lackierarbeiten sondern auch in einer Kosteneinsparung bezüglich des Materialeinsatzes. Es wird sich in der Anwenderpraxis zeigen, in wiefern die Beschichtung bei entsprechender Pflege sogar dauerhaft/ lebenslänglich (im Sinne von Schiffslebenszeit) funktionieren kann.

Anhang

- Auszug aus Website www.marecoat.net

MAReCOAT

Marine Ecological Coatings

[Home](#)

[Das Projekt](#)

[Bewuchs - Wissen](#)

[Kontakt-Formular](#)

[Impressum](#)



MAReCOAT

+++ Marine ecological Coatings +++

Home

Das Projekt

Beschichtung - FAQs

Bewuchs - Wissen

Kontakt-Formular

Impressum

Das Projekt

- Die Entwicklung einer nicht-toxischen Antihaftbeschichtung für Sportboote -

Ein vielversprechender Weg, einen nicht-toxischen Bewuchsschutz zu erreichen, sind Antihaftbeschichtungen. Allerdings stellt das marine Milieu mit seinem starken Bewuchsdruck – auch in den sommerlichen Nord- und Ostseehäfen – hohe Anforderungen an die Funktionalität einer Antihaftbeschichtung. Hier gibt es bei den auf dem Markt befindlichen biozidfreien Produkten für Segelyachten und Motorboote immer noch große Unsicherheiten. Wenn die Beschichtung versagt, machen sich bei Bootseignern vor allem Seepocken mit ihrem festen Gehäuse unbeliebt. (Infos zu Bewuchs finden Sie [hier](#).)



[Home](#)[Das Projekt](#)[Beschichtung - FAQs](#)[Bewuchs - Wissen](#)[Kontakt-Formular](#)[Impressum](#)

FAQs zur Beschichtung

Q: Um was für eine Art von Beschichtung handelt es sich?

A: Es handelt sich um eine biozidfreie Antihaft-Beschichtung, die durch ihre besonderen Oberflächeneigenschaften nicht nur die Haftkräfte von Bewuchsorganismen vermindert, sondern durch ihre elastischen Eigenschaften auch den Ablösevorgang unterstützt.

Q: Was sind die Vorteile der Beschichtung?

A: Die Vorteile sind:

- lange Haltbarkeit, keine Schleif- und Farbarbeiten im Winterlager
- glatte Oberfläche vermindert Reibungswiderstand des Rumpfes, was sich positiv auf die Geschwindigkeit und den Treibstoffverbrauch auswirkt
- gute Funktionalität bei absolutem Verzicht auf Biozide
- die Applikation erfolgt umweltfreundlich komplett lösungsmittelfrei

Q: Kann man die Beschichtung selbst applizieren?

A: Nein, die Beschichtung kann nur im Werftbetrieb verarbeitet werden. Vollrumpf-Beschichtungen werden mit schwerem Gerät im Airless-Spray-Verfahren durchgeführt. Kleinere Reparaturen oder kleine Flächen (Bootspropeller) werden manuell durch geschultes Personal durchgeführt.

Q: Wie muss der Bootsrumpf vorbereitet werden?

A: Die Altantifouling kann – wenn es sich um eine Hardantifouling handelt und wenn sie im guten Zustand ist – versiegelt werden. Besser ist das vollständige Entfernen der