

Abb. 1: Experimentelle Beschichtungssysteme mit kommerziellen Referenzbeschichtungen auf 20 x 20 cm PVC-Substraten zu Beginn der Feldprüfungen 2021. Hierbei handelt es sich um Verschleißproben, die im Laufe des Auslagerungsjahres eine mehrfache Reinigung durchlaufen.

# Integriertes Beschichtungs- und Reinigungskonzept zur Bewuchskontrolle an Offshore-Strukturen

**ROBUST** Die marine Anwendungsumgebung bürdet Material und Technik zahlreiche Anforderungen auf, die es zu erfüllen gilt, um längerfristig bestehen zu können. Im BMWK-geförderten Projekt ROBUST ist die Fähigkeit zur wiederholenden Reinigung ohne Oberflächenschädigung von Offshore-Strukturen untersucht worden.

Tim Heusinger von Waldegge, Dr. Dorothea Stübing, Bernd Daehne, Lukas Kuhn, Dr. Thorsten Felder, Dr. Philip Kensbock

**B**eschichtungen sind von zentralem Wert für den langfristigen Schutz von maritimen Konstruktionen und den Erhalt der technischen Funktionalität. Im Unterwasserbereich stellt Biofouling einen wichtigen Einflussfaktor dar, denn es führt zu veränderten Strömungsverhältnissen, erhöhten Lasten und erschwert Inspektionsaufgaben [1]. Das Gesamtziel des Projekts ROBUST bestand darin, ein integriertes Konzept zur Kontrolle des Bewuchses an Offshore-Stahlkonstruktionen zu entwickeln. Es zielte darauf ab, Beschichtungen zu entwickeln, die sowohl mechanisch stabil sind, um eine mehrmalige mechanische Reinigung, wie es in der Praxis üblich ist, unbeschadet überstehen zu können, als auch die Ansiedlung von Bewuchs grundsätzlich zu verringern. Die Herausforderung bestand darin, Beschichtungen zu formulieren, die die Eigenschaften von abrasionsstabilen und bewuchsvermeidenden Beschichtungen kombinierten, denn bisherige Beschichtungen leisten entweder das eine oder das andere. Auf der einen Seite sollte das Beschichtungs-

system daher eine hohe Abriebfestigkeit aufweisen. Ebenso war eine ausgezeichnete Haftung auf Grundierungs- oder Korrosionsschutzanstrichen von großer Bedeutung. Auch die Applikation musste einfach, schnell und flexibel erfolgen können. Dabei war es entscheidend, die optimalen Bedingungen für die Aushärtung zu ermitteln, um die gewünschte Schichtqualität zu erzielen. Die Schichtdicke der Beschichtung wurde ebenso in Betracht gezogen, um den Anforderungen zur Langzeitstabilität gerecht zu werden. Durch die Bewuchsschutzeigenschaften sollte das Anhaften von Organismen reduziert werden. Die Entwicklung konzentrierte sich auf ungiftige, biozidfreie Systeme, um den gesetzlichen Vorgaben zu entsprechen und Nachhaltigkeitsaspekte zu berücksichtigen. Die Beschichtung sollte in der Lage sein, wiederholt gereinigt zu werden, ohne ihre bewuchsmindernden Effekte zu verlieren.

## Methodik: Prüfen und Testen

Um Beschichtungen auf ihre Standzeit von 20 bis 25 Jahren innerhalb einer dreijährigen

Projektlaufzeit zu testen, wurde ein dreiteiliges Versuchsprogramm erstellt. Zunächst kamen Standardtests zum Einsatz, die jeweils über ein Jahr liefen und vor allem in den ersten beiden Jahren eine hohe Anzahl von Eigenentwicklungen prüften. Hierbei wurde am Ende der Saison eine Einmalreinigung mit 220 bar Wasserhochdruck durchgeführt. Diese Probenkategorie mit jeweils 10 x 10 cm großen Probenflächen stellte das Instrument dar, mit dem primär die Bewuchsschutzeigenschaften evaluiert werden sollten. Ein als Verschleißtests bezeichnetes Versuchsszenario setzte die dafür konzipierten Proben, in der Größe 20 x 20 cm, mehreren Reinigungsvorgängen pro Saison aus, um den Verschleiß zu simulieren, dem eine Beschichtung an einer Windenergieanlage während ihrer realen Standzeit von 20 bis 25 Jahren ausgesetzt ist (vgl. Abb. 1). Aufgrund des erkannten Verschleißes in den ersten beiden Saisons wurden diese Systeme jedoch jährlich durch neue, optimierte Systeme ersetzt. Die Verschleißtests stellten das wichtigste Instrument dar, um die Abrasionsstabilität

unter simulierten Anwendungsbedingungen zu prüfen. Die mechanische Reinigung wurde nach dem Stand der Technik mittels rotierender Bürsten oder mit Hochdruckwasserstrahl durchgeführt (vgl. Abb. 2a und b und Abb. 3). Für die Bürstenreinigung sind verschiedene Bürstenmaterialien und Härtegrade nach einem eigens entwickelten Versuchsschema eingesetzt worden. So konnten die Arbeiten auch zwischen den Feldstandorten Norderney und Helgoland standardisiert werden. Die Reinigung erfolgte zunächst mit dem geringsten Härtegrad und dann je nach Reinigungserfolg mit aufsteigender Härte. Im dritten Jahr des Feldtests wurde für die Reinigung nur noch der Hochdruckwasserstrahl eingesetzt, da die rotierenden Bürsten u.a. durch die Ablösung von kalkhaltigem Fouling starke Beschädigungen auf den Beschichtungen erzeugten, auch auf den kommerziellen Referenzsystemen.

Als dritte Testvariante wurde bereits zu Beginn der Versuchskampagne ein Langzeittest gestartet, der über rund dreieinhalb Jahre lief. Dieser konzentrierte sich darauf, die Reinigungsfähigkeit der Testbeschichtungen nach einem längeren Intervall zu prüfen, das dem tatsächlichen Zeitraum zwischen zwei Reinigungsvorgängen an einer Windenergieanlage (WEA) nahekommt. Hierbei wurde lediglich im März 2023 eine einmalige Reinigung mittels 220 bar Wasserhochdruck durchgeführt. Diese Proben sollten vor allem Erkenntnisse zu der Sukzession des Foulings liefern und Hinweise auf Self-cleaning-Eigenschaften der experimentellen Systeme geben. Während des Entwicklungszeitraums wurden umfassende Laborprüfverfahren eingesetzt, darunter Linearabrationstests und die Simulationen von Reinigungsprozessen u.a. an neu entwickelten Prüfständen (vgl. Abb. 3). Die Oberflächenanalyse erfolgte mittels spezifischer Testmethoden, wie der Kontaktwinkelmessung zur Beurteilung der Oberflächeneigenschaften sowie dem Hydrolysetest unter Kurzauslagerung, um die Beständigkeit der Beschichtung gegenüber Umwelteinflüssen zu überprüfen. Zusätzlich wurde auch die Möglichkeit der Überbeschichtung bestehender Korrosionsschutzoberflächen untersucht. Hier lag der Fokus auf der Haftung der neuen Beschichtung auf den bereits vorhandenen Oberflächen. Die Entwicklung beinhaltete zudem Ansätze zur Reparatur der Beschichtung, um sicherzustellen, dass die Integrität der Beschichtung über die Zeit gewährleistet ist.

Labortests allein können die hochgradig anspruchsvolle Anwendungsumgebung

nicht vollumfänglich abbilden. Biofouling ist ein komplexes Phänomen, da jede Spezies eigene Adhäsionsstrategien nutzt. Anwendungsnahe Feldtests sind daher ein unerlässlicher Baustein zur Qualifizierung der neu entwickelten Materialien und Beschichtungen. Simulierte Feldversuche dienten dem Screening von Testbeschichtungen, die für den Offshore-Einsatz an ausgewählten Standorten mit hohem Bewuchsdruck (auf der Nordhalbkugel besteht dieser von März bis Oktober) entwickelt wurden. Dieses Testdesign ermöglichte die optimale Nutzung der Projektdauer für die Formulierung und Optimierung von Testbeschichtungen. Die prospektiven und leistungsstärksten Formulierungen wurden nach ihrer Vorqualifizierung in Laborprüfungen in Feldtests exponiert. Das Unternehmen Dr. Brill + Partner führte simulierte Feldtests auf Norderney durch. Eine Testplatte jedes Beschichtungssystems wurde am Schwimmponton im Norderneyer Hafen angebracht. Weitere Proben wurden in der tidebeeinflussten Spritzzone an der Brill-Strandstation ausgesetzt. Ein weiteres

Gestell mit Replikaten wurde dauerhaft unter dem Niedrigwasserspiegel platziert. Vergleichstests wurden vom Fraunhofer IFAM auf dem Helgoland-Prüfstand für statische Bewuchstests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Testbeschichtungen an einem anderen Offshore-Standort zu validieren. Die Wirksamkeit und Haltbarkeit der Testsysteme wurden während der Bewuchsperiode von März/April bis September/Oktober monatlich gemäß ASTM 6990-20 bewertet. Dabei wurde der Bedeckungsgrad der Proben mittels standardisierter, softwarebasierter Verfahren ermittelt. Auch taxonomische Bestimmungen und die Erfassung dominierender Taxa wurden durchgeführt. Zusätzlich wurden Haftungsmessungen von Seepocken gemäß ASTM 5618-94 durchgeführt. Als Referenzmaterialien diente u.a. ein kommerziell erhältliches, zertifiziertes Hochsee-Topcoat. Zusätzlich zu den schwimmenden Prüfständen wurde in einem abschließenden Demonstrationsversuch im Helgoländer Unterwassertestfeld „MarGate“ ein 300 kg schwerer, kubusförmiger Lander in einer

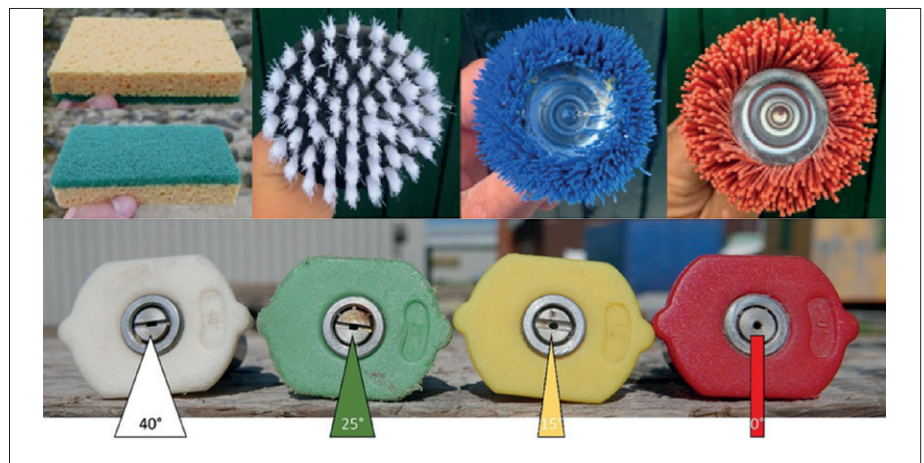


Abb. 2a: Reinigungsutensilien im Projekt ROBUST: Oben sind die Aufsätze für den Hochdruckwasserstrahl zu sehen, die sich durch einen anderen Strahlwinkel auszeichnen. Die untere Fotofolge zeigt die schwamm- bzw. bürstenbasierten Reinigungsinstrumente, beginnend mit dem Schwamm (weicher und harter Seite), Bürstenköpfe weich (weiß), mittelhart (blau) und hart (rot). Bei der ersten Inspektion der Verschleißproben kamen nur der Schwamm und die weiche Bürste zum Einsatz.

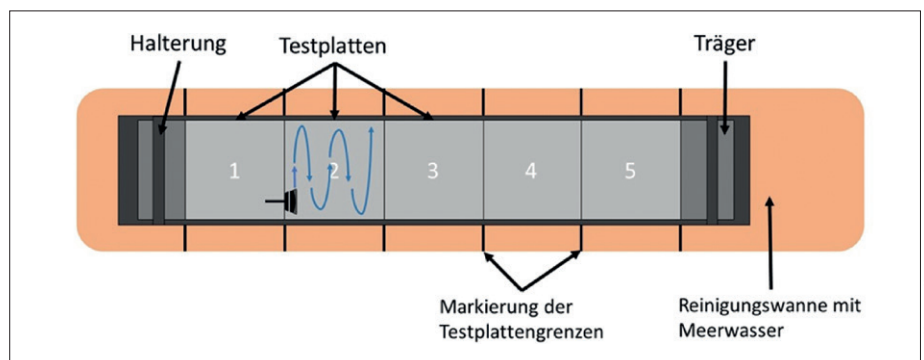
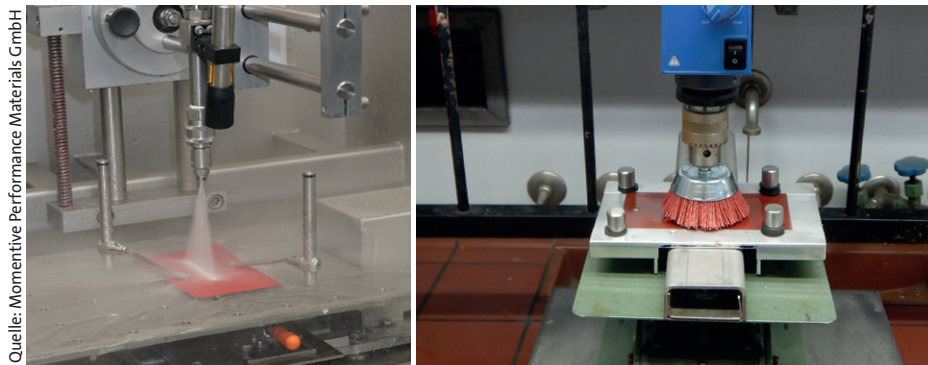


Abb. 2b: Reinigungsschema für die Bürsten- und Hochdruckwasserstrahlreinigung



Quelle: Momentive Performance Materials GmbH

Abb. 3: Hochdruckwasserstrahl- (links) und die Eigenentwicklung eines Bürsten- Laborprüfstandes (rechts) zur Vorqualifizierung der entwickelten Systeme. Die Vorselektion war notwendig, um u.a. die begrenzte Anzahl von Versuchsplätzen im Feld am effektivsten zu nutzen.

Tiefe von ungefähr 9 m auf dem Meeresboden der Nordsee platziert. Die Neuentwicklung dieses Landers ermöglichte die gleichzeitige Prüfung von bis zu 64 Beschichtungs- und Materialproben mit einer Größe von 20 x 40 cm in größeren Wassertiefen. Das „MarGate“ Unterwasser-Testfeld verfügte über eine eigene Sensordatenerfassung, um wichtige umweltbezogene Parameter wie Temperatur, Salzgehalt und Strömungsbedingungen in die ganzheitliche Auswertung der Proben einzubeziehen. Die Auswertungen vor und nach den Reinigungen ermöglichten die Erfassung der Wirksamkeit zur mechanischen Stabilität, Haftung und Neubesiedlung durch marinen Bewuchs.

**Methodik: Beschichtungsentwicklung**

Beschichtungsformulierungen erlauben den mannigfaltigen Einsatz von Füllstoffen, Bindemitteln und funktionalen Additiven usw. Dementsprechend sind während des Projek-

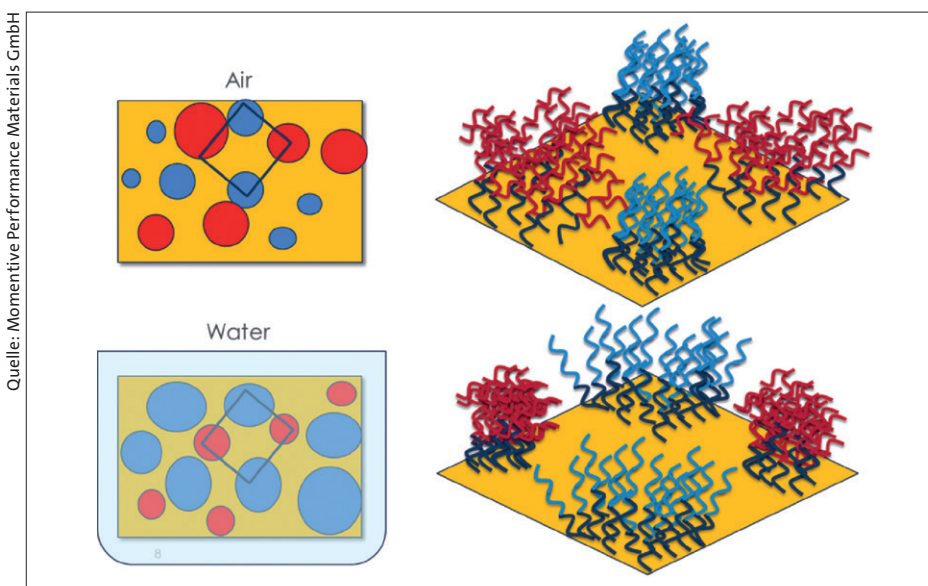
tes unterschiedliche Entwicklungsrouten verfolgt worden. Die daraus resultierenden Systeme unterscheiden sich dabei nicht allein in ihrer Rezeptur, sondern auch in der Art des Härtungsmechanismus. So wurden im Laufe der Projektlaufzeit allein in den Feldtests 441 Proben getestet. Ein Vielfaches davon unterlag der Vorqualifizierung in den Laborprüfungen. Neben der reinen Formulierungsarbeit hat die Momentive Performance Materials GmbH vorwiegend an neuen Rohstoffen und Performance-Additiven gearbeitet, die später der Erreichung der Projektziele dienen sollten. Im Rahmen des Projekts erfolgte die Entwicklung einer Silikonlackgrundmatrix mit Eigenschaften, die Bewuchs entweder abstoßen oder dessen Wachstum verringern. Dabei wurde sichergestellt, dass keinerlei Biozide oder biozidwirksame Komponenten verwendet wurden. Zudem lag ein Augenmerk darauf, dass der Effekt der Bewuchsreduzierung nicht auf auswaschbaren oder

herauslösbaren Bestandteilen der Lackmatrix beruht. Dem Bewuchsschutz liegt im vorliegenden Projekt die Hypothese zugrunde, dass hydrophile und hydrophobe Domänen auf der Lackoberfläche die entropischen und enthalpischen Triebkräfte für die Adsorption der Meeresorganismen verringern (vgl. Abb. 4) [2].

Bereits in vorangegangenen Projekten entwickelte Beschichtungssysteme wiesen gute Bewuchsschutz- und Reinigungseigenschaften auf. Ziel war es, diese Eigenschaften weiter zu verbessern, um den Anforderungen für Offshore-Strukturen gerecht zu werden. Hierbei wurden geeignete Lackkomponenten wie oberflächenmodifiziertes TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Polymerharze und hydrophile/hydrophobe Zusätze verwendet. Des Weiteren erfolgte die Transformation des Silikon-Systems mit zuvor eingeschränkter mechanischer Festigkeit hin zu einer widerstandsfähigen Beschichtung – unter Beibehaltung der Eigenschaften hinsichtlich der Bewuchskontrolle. Für diesen Zweck wurden u.a. unterschiedliche Konzepte elastomerer Bindemittel auf Basis von Polydimethylsiloxan (PDMS) entwickelt. Diese wurden kombiniert mit härteren Bindemitteltypen wie Polyurethanen (PU), Epoxiden (EP) und Polysilazanen, um Hybridmaterialien zu generieren. Durch diese Kombination sollten die mechanischen Eigenschaften der Beschichtung verbessert werden. Ebenfalls wurden neue hydrophile und hydrophobe Silikon-Additive zur Optimierung der Bewuchsablösung und der Selbstreinigung entwickelt. Diese wurden beispielsweise in thermische oder UV-härtbare Hartbeschichtung integriert. Weiterhin erfolgte die Einbringung von verstärkenden Füllstoffen wie pyrogener Kieselsäure, Polymerfasern, Quarz, Korund und Siliziumcarbid. Durch die Kombination dieser verschiedenen Ansätze wurde eine breite Palette von Beschichtungsmaterialien entwickelt und getestet, um die gewünschten Eigenschaften in Bezug auf Elastizität, Abriebfestigkeit, Fouling-release-Wirkung und mechanische Stabilität zu erreichen.

**Ergebnisse**

Die Vielzahl der durchgeführten Labor- und Feldversuche zusammenzufassen kann in diesem Format nur auf exemplarischem Wege gelingen. Als Beispiel für eine essenzielle Labormethode zur Charakterisierung der entwickelten Beschichtungen diente die Messung der Shore-A-Härte. Sie lieferte eine kompakte Zusammenfassung der mechanischen Stabilität eines Beschichtungssystems. Die Werte vermittelten Ein-



Quelle: Momentive Performance Materials GmbH

Abb. 4: Schematische Darstellung einer aus hydrophilen und hydrophoben Domänen bestehenden Oberfläche, zur Entfaltung eines Fouling-release-Mechanismus

blicke in die Widerstandsfähigkeit und Elastizität der Beschichtungs­oberfläche gegenüber mechanischen Belastungen wie Druck, Abrieb und Verformung. Eine höhere Shore-A-Härte deutete auf eine härtere und weniger verformbare Oberfläche hin, die widerstandsfähiger gegenüber äußeren Einwirkungen war. Niedrigere Werte hingegen wiesen auf eine weichere und elastischere Oberfläche hin, die bei Belastung leichter nachgab. In Abbildung 5 ist dargestellt, wie sich dieser Parameter über die Projektlaufzeit für drei exemplarisch dargestellte Entwicklungspfade, mit jeweils Unterschieden in der Formulierungszusammensetzung (1. PDMS, 2. EP-PDMS und 3. PU-PDMS) durch Optimierungsarbeiten in der Formulierung veränderte. Die Intention bestand darin, die Beschichtungen aufgrund der aufgetretenen Reinigungsdefekte mechanisch stabiler zu machen. Diese Lackcharakterisierung dient als Beispiel für die mannigfaltig durchgeführten Analysen und deren Wichtigkeit für einen zielgerichteten Entwicklungsprozess. Die gewonnenen Erkenntnisse der simulierten Feldtests auf Norderney betonten den Erfolg von Beschichtungen sowohl in Standardtests – wo lediglich eine Reinigung nach einer Saison bzw. drei Saisons erfolgte – als auch in Langzeittests. In diesen Tests schnitten viele Beschichtungen positiv ab. Hingegen wirkte die Abrasion in den Verschleißtests, in denen mehrfache Reinigungen innerhalb einer Saison durchgeführt wurden, als klarer Selektionsfaktor für die untersuchten Systeme. Unter den Bedingungen des Norderneyer Hafens, wo der Bewuchs weniger aus hartschaligen Seepocken bestand, ermöglichten schonendere Reinigungen eine verringerte Beschädigungsrate.

In Kontrast dazu war an der Strandstation mit anspruchsvolleren Bedingungen – inklusive regelmäßigen tidebedingten Trockenfallzeiten – eine erhebliche Zunahme an hartschaligem Bewuchs zu verzeichnen. In dieser Umgebung waren Reinigungen oft unzureichend durchführbar oder führten zu Beschädigungen. Die zusätzliche abrasive Wirkung der Kalkschalen verschärfte diese Herausforderung. Trotzdem erwiesen sich einige Beschichtungen als widerstandsfähig genug und konnten den Bewuchs wirkungsvoll vermindern.

Die erlangten Erkenntnisse von Helgoland lieferten vor allem im Hinblick auf die Langzeitproben vielversprechende Resultate. Zwei der fünf untersuchten Systeme wiesen wiederkehrende Selbstreinigungseigenschaften auf, die hypothetisch mit der

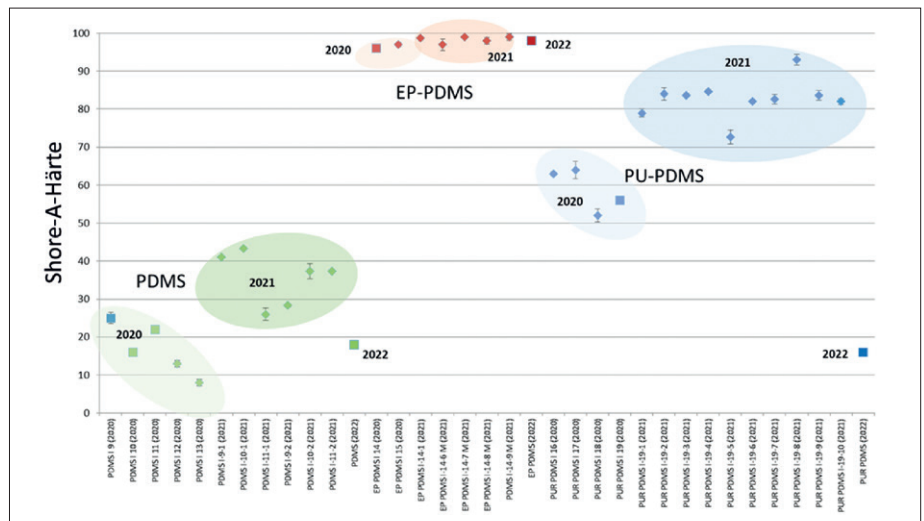


Abb. 5: Vergleich der Shore-A-Härte für PDMS-, EP-PDMS- und PU-PDMS-Systeme des IFAM aus den Entwicklungsjahren 2020, 2021 im Jahr 2022  
Quelle: Fraunhofer IFAM

Menge des anhaftenden Biofoulings korrelieren. Die ersten beiden Generationen zeigten eine deutliche Verbesserung in Bezug auf Bewuchsschutz- und Reinigungseigenschaften im Vergleich zur Referenz. Die dritte Generation vermochte den Bewuchsschutz im Vergleich zur kommerziellen Referenz zu erhöhen, ohne jedoch eine signifikante Weiterentwicklung gegenüber der zweiten Generation zu erzielen. Bemerkenswert war die inhärente Abrasivität der Bürstenreinigung, die durch Bruchstücke hartschaliger Organismen wie Seepocken verstärkt wurde. Nicht nur für die experimentellen Beschichtungen, sondern auch für die etablierte kommerzielle Referenz bedeutete dies ein erhöhtes Schadensrisiko. Ein Wendepunkt trat in diesem Zusammenhang im dritten Jahr auf, als ein Wechsel der Reinigungsmethodik (Bürste zu Hochdruckwasserstrahl) stattfand. Dies führte zu einer deutlich reduzierten Anzahl von Beschichtungsschäden, was eine wesentliche Möglichkeit zur Optimierung aufzeigte.

An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass die statischen Bewuchsbedingungen als Extrem-szenario betrachtet werden können. Angesichts dieser Schlussfolgerungen manifestierten die Erkenntnisse von Helgoland nicht nur die Innovationsdynamik im Bereich der Beschichtungsentwicklung, sondern betonten auch die Praktikabilität und den Stellenwert adaptiver Reinigungsmodalitäten.

In einem weiteren Ansatz wurden neue Silikon-Additive und Lackkomponenten entwickelt und in bereits abrasionsbeständige thermische und UV-härtbare Hartbeschichtungen integriert. Durch die Additivierung und Weiterentwicklung der Beschichtungsformulierungen wurde ein guter Kompromiss zwischen mechanischer Beständigkeit, Untergrundhaftung und einer bewuchsablösenden Wirkung erzielt (Abb. 8).

Mit den fortschreitenden Generationen der Additiv- und der Formulierungsentwicklung in der Projektzeit wurde

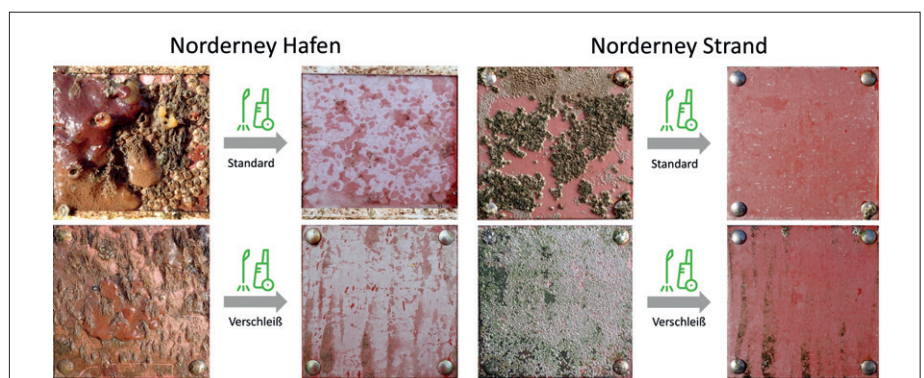


Abb. 6: Überwiegend weicher Bewuchs mit Aszidien und Moostierchen im Norderneyer Hafen (links) und hartschaliger Seepockenbewuchs am Strand von Norderney am Beispiel von Testsystem MOM 749. In allen Fällen war eine Reinigung möglich, mit nur geringen Beschädigungen der Oberfläche nach der dritten Reinigung der Verschleißreihe.  
Quelle: Brill + Partner GmbH

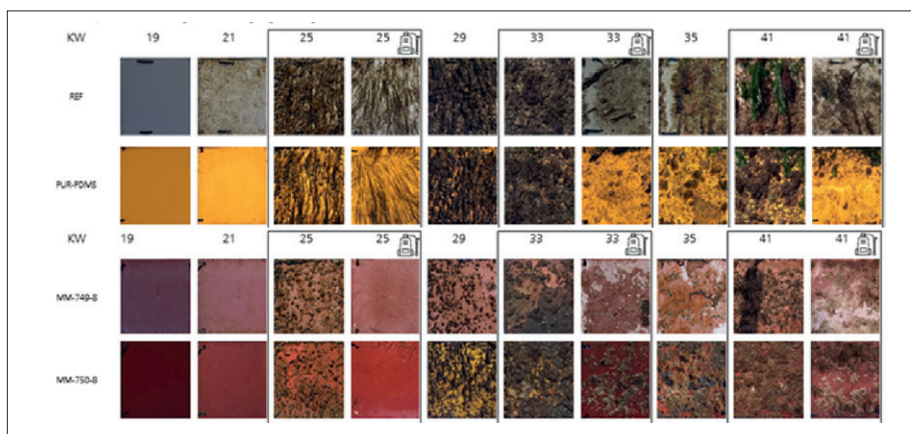


Abb. 7: Bewuchsszenario für drei ausgewählte Helgoländer Verschleißproben im Jahr 2022 (Dritte Generation der Beschichtungsentwicklung) in Abhängigkeit von dem zeitlichen Verlauf, maskiert durch Kalenderwochen. Die eingerahmten Kästen zeigen die Probe vor und nach der Reinigung mit Hochdruckwasserstrahl. In der oberen Fotoreihe ist die kommerzielle Referenz zu sehen, die deutlich mehr Bewuchs akkumuliert und einen geringeren Reinigungserfolg aufweist.

Quelle: Fraunhofer IFAM

ersichtlich, dass die Reinigungsfähigkeit bei bleibender abrasiver Beständigkeit zunehmend verbessert werden konnte. Während die Reinigung der ersten Generation einer UV-härtbaren Beschichtung noch eine intensive mechanische Einwirkung auf den Oberflächenbewuchs erforderte, konnte eine Ablösung in der zweiten Generation schon mit einer Hochdruckreinigung oder mit einer weichen Bürste realisiert werden. Das vorliegende Untersuchungsergebnis konstatiert, dass ein umweltfreundlicher Bewuchsschutz ohne den Einsatz von Bioziden realisierbar ist, auch unter statischen Bedingungen. Weniger Bewuchs und potenzielle Self-cleaning Eigenschaften der Systeme gehen einher mit einem reduzierten Reinigungsaufwand, wodurch Effizienzsteigerungen erzielt werden konnten. Deutlich wurde,

dass der abrasive Abrieb durch kalzifizierende Organismen, insbesondere in Kombination mit Bürstenreinigungen, eine herausfordernde Problemstellung für alle getesteten Beschichtungssysteme darstellt. Hierbei zeigte sich, dass der Einsatz eines Hochdruckwasserstrahls möglicherweise Schäden minimieren kann, wobei eine präzise Ausführung zentral ist. Es wird ferner hervorgehoben, dass die experimentellen Beschichtungen überwiegend eine verbesserte Bewuchsschutzleistung im Vergleich zu etablierten kommerziellen Korrosionsschutzbeschichtungen, die bisher bei Offshore-Anlagen im Einsatz sind, aufweisen. Dies wiederum kann zu einer erheblichen Kostenreduktion durch gesteigerte Effizienz beitragen und somit einen wegweisenden Schritt für die Unterwasserinspektionen darstellen.

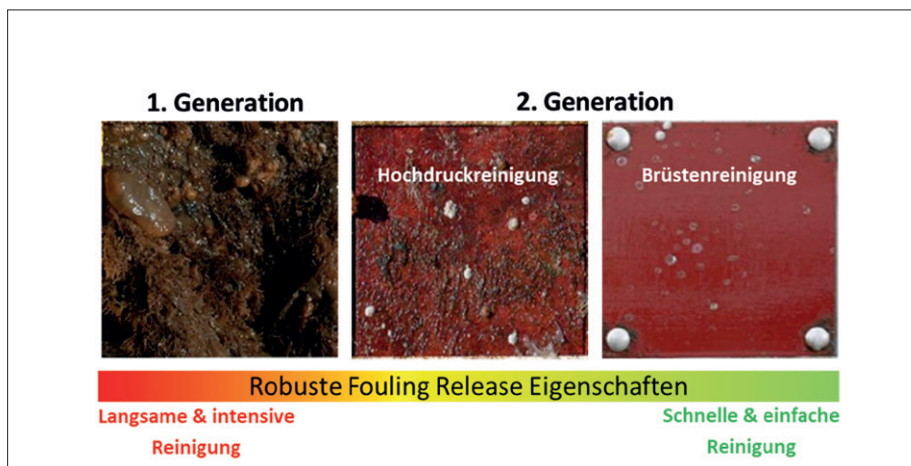


Abb. 8: Exemplarische Darstellung der Weiterentwicklung der Additive und deren Wirkung in einer UV-härtenden Hartbeschichtung

Quelle: Momentive Performance Materials GmbH

## Zusammenfassung und Ausblick

Die ursprünglichen Ziele, darunter die Fähigkeit zur wiederholenden Reinigung bis zu zehnmal ohne Oberflächenschädigung sowie eine 50-prozentige Zeitreduktion bei Reinigungsmaßnahmen im Vergleich zu gängigen Marktstandards, wurden intensiv verfolgt. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass die wiederholbare Reinigungsfähigkeit in Laborumgebungen acht Wiederholungen ermöglicht. Im Feldtest konnten aufgrund der Saisonalität in den gemäßigten Breiten immerhin vier Wiederholungen innerhalb eines Jahres erreicht werden. Dies unterstreicht das erhebliche Potenzial für eine verbesserte Performance in realen Anwendungsbedingungen. Zudem führte der Feldtest zu einer Zeitreduktion von über 50 Prozent, was die Effizienzsteigerung bei Reinigungsverfahren bestätigt. Besonders erfreulich ist, dass trotz Inflation die Vertriebsgemeinkosten der Fouling-release-Beschichtungssysteme im geplanten Bereich von 20 bis 50 Euro/kg verbleiben. Dies spiegelt die wirtschaftliche Stabilität des Projektes wider.

## Literatur

[1] Schoefs, F., Tran, T.-B. (2022). Reliability Updating of Offshore Structures Subjected to Marine Growth. *Energies* 2022, 15, 414. <https://doi.org/10.3390/en15020414>

[2] Su, X., Yang, M., Hao, D., Guo, X. & Jiang, L. (2021). Marine Antifouling Coatings with Surface Topographies Triggered by Phase Segregation. *Journal of Colloid and Interface Science*

Dieser Beitrag basiert auf einer Veröffentlichung im Tagungsband des Projektträgers Jülich (PtJ) zur 20. Statustagung „Maritime Technologien“ im Dezember 2023.

## Die Autoren

**Tim Heusinger von Waldege**, Fraunhofer IFAM, **Verbundkoordinator**;  
**Dr. Dorothea Stübing**, Fraunhofer IFAM;  
**Bernd Daehne** und **Lukas Kuhn**, **Dr. Brill + Partner Institut für Antifouling und Biokorrosion**;  
**Dr. Thorsten Felder** und **Dr. Philip Kensbock**, **Momentive Performance Materials GmbH**

## Danksagung:

Das Projekt ROBUST (FKZ: 03SX490) wurde durch das Ministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Der Dank des Projektkonsortiums gilt zudem den Mitarbeitenden des Projektträgers Jülich (PtJ) für die gute administrative und fachliche Unterstützung des Vorhabens.

## Gefördert durch:

