



## Geschäftsfeld biologische und makromolekulare Materialien

Grenzflächen stehen bei uns im Mittelpunkt – Grenzflächen zwischen belebter und unbelebter Materie, innere Grenzflächen in Mischmaterialien und besonders die Oberflächen von Materialien. Wir untersuchen diese Grenzflächen und entwickeln Technologien, um mit gezieltem Grenzflächenengineering die Funktionalität der Materialien zu verändern.

Für unsere Kunden aus der Medizintechnik, der Pharmazie, der Biotechnologie und der Kunststoffverarbeitung entwickeln wir Oberflächenmodifizierungs- und Beschichtungsverfahren zur Erzeugung von biofunktionalen Oberflächen. Wir bewerten die mechanischen, morphologischen und chemischen Eigenschaften von biologischen und biomedizinischen Materialien und verwenden Nanotechnologien zu deren Funktionalisierung. Anwendungen sind beispielsweise Implantate mit einer höheren Biokompatibilität, verbesserte Produkte für Kosmetik, Mund- und Zahnpflege und Materialien, die gegen unerwünschten Bewuchs durch Organismen geschützt sind.

**1** *Langzeitversuch in der Ostsee. Die einzelnen Testschwerter sind mit verschiedenen Lacksystemen beschichtet und waren 16 Monate dem Wasser im Hafenbecken Kühlungsborn ausgesetzt. Entsprechend der Wirksamkeit der Anti-fouling-Lackierung zeigen sie unterschiedlichen Bewuchs.*

**2** *Mit dem Experimental-Couponentester CT-M wird die Membranperformance bei der Umkehrosmose ermittelt. Das Prinzip wird zur Entsalzung von Wasser entgegen des osmotischen Drucks eingesetzt.*

Unsere Schwerpunkte:

- materialwissenschaftliche Charakterisierung und Bewertung von Materialien der Medizintechnik aus dem Bereich der Mund- und Zahnpflege (Oral Care) und von kosmetischen Pflegeprodukten
- Oberflächenmodifizierung und Oberflächenbewertung von Kunststoffen
- mechanische Bewertung von Materialien unter physiologischen Bedingungen
- Entwicklung neuer Werkstoffe mit verbesserter Struktur- und Oberflächenkompatibilität und maßgeschneiderter Funktionalität
- Entwicklung von nachhaltigen und langlebigen Halbzeugen für die Bauindustrie



**Wir verbessern die biofunktionalen Eigenschaften von Produkten und entwickeln leistungsstarke Beschichtungen, Strukturierungsverfahren und Oberflächentechnologien.**

# FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR MIKROSTRUKTUR VON WERKSTOFFEN UND SYSTEMEN IMWS

## Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS

Walter-Hülse-Straße 1  
06120 Halle (Saale)  
Telefon: +49 345 5589-0

## Geschäftsfeldleiter Biologische und makromolekulare Materialien

Prof. Dr. Andreas Heilmann  
andreas.heilmann@imws.fraunhofer.de  
Telefon: +49 345 5589-180

## WWW.IMWS.FRAUNHOFER.DE

Wir arbeiten nach einem Qualitätsmanagement-System, das nach DIN ISO 9001:2008 zertifiziert ist.

## Werkstofflösungen für Material- und Energieeffizienz

Die zentrale Herausforderung der Menschheit im 21. Jahrhundert ist die Nachhaltigkeit aller Lebensbereiche, insbesondere der effiziente Umgang mit begrenzten Rohstoffen. Das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS betreibt angewandte Forschung im Bereich der Materialeffizienz und ist Impulsgeber, Innovator und Problemlöser für die Industrie und für öffentliche Auftraggeber in den Bereichen Zuverlässigkeit, Sicherheit, Lebensdauer und Funktionalität von Werkstoffen in Bauteilen und Systemen. Die Kernkompetenzen liegen im Bereich der Charakterisierung von Werkstoffen bis auf die atomare Skala sowie in der Materialentwicklung.

Mit den Lösungen des Fraunhofer IMWS können der Energieverbrauch und der Materialeinsatz bei der Herstellung und im Einsatz von Werkstoffen und Bauteilen reduziert sowie die Energieverluste bei der Erzeugung, Umwandlung und Speicherung von Energie gesenkt werden. Fraunhofer-IMWS-Lösungen führen zu längerer Bauteillebensdauer und höheren Standzeiten sowie zu gesteigerter Zuverlässigkeit und Sicherheit. Daraus resultieren wirtschaftlichere Prozesse und Kosteneinsparungen.

- Aufklärung und Management von Defekten, Rissbildung, Verformung, Versagen, Verschleiß, Fehlverhalten, Ermüdung
- Werkstoffcharakterisierung und -optimierung, Bauteilprüfung, Schadensanalysen, Fehlerdiagnostik, Mikrostrukturanalyse
- Mikrostrukturdesign, Werkstoffmodellierung, Prozess- und Bauteilsimulation
- Randschichtbewertung, Beschichtungen, Funktionalisierungen, Bio- und Grenzflächenanalytik
- Prozess-, Verfahrens- und Geräteentwicklungen

### Institutsleitung

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn

### Fraunhofer IMWS

Walter-Hülse-Straße 1  
06120 Halle (Saale)  
Telefon +49 345 5589-0







**Fraunhofer**  
IMWS

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR MIKROSTRUKTUR VON WERKSTOFFEN UND SYSTEMEN IMWS

**VOLLE KRAFT VORAUS!  
ANTIFOULING-LÖSUNGEN FÜR DEN SCHIFFBAU**





## Biofouling in der Schifffahrt – die Relevanz

Materialien, die sich im Meer befinden, werden schnell als Lebensraum erobert. Am Rumpf von Schiffen siedeln sich unter Wasser besonders häufig Tiere wie Miesmuscheln, Röhrenwürmer, Seepocken, Polypen oder Schwämme an. Auch Mikroorganismen und Pflanzen wie Algen und Tang tragen zum Bewuchs bei. Besonders schnell passiert dies in nährstoffreichen Gewässern mit Temperaturen über 10°C und in Mündungsgebieten und Hafenbecken.

Die Organismen haben Methoden entwickelt, um selbst an sehr glatten Oberflächen zu haften, beispielsweise durch Unterdruck oder durch natürliche Klebstoffe. Oft sind diese so stark, dass der Unterwasserbewuchs auch bei voller Fahrt am Schiff haften bleibt. Biofouling fördert dabei Biofouling: Ausgangspunkt ist meist ein organischer Film aus Zucker und Eiweißen, auf dem sich zunächst Bakterien, dann Einzeller wie zum Beispiel Algen ansiedeln. Wenn erste Mikroorganismen sich einmal am Schiffsumpf festgesetzt haben, senden sie Botenstoffe aus, die andere Lebewesen anlocken und der Bewuchs breitet sich somit oft rasch auf der Oberfläche aus.

Für die Schifffahrt sind Organismen, die sich am Rumpf festsetzen, ungeliebte Passagiere: Sie erhöhen den Treibstoffverbrauch und greifen das Material an.

**1** Seepocken sind eine der häufigsten Ursachen für Biofouling in der Schifffahrt. Sie setzen sich am Rumpf fest und können dann den Standort nicht mehr wechseln.

**2** Der Bewuchs unter Wasser erhöht den Strömungswiderstand von Schiffen signifikant. Das treibt den Treibstoffverbrauch in die Höhe.

**3** Miesmuscheln haften durch einen selbst produzierten Klebstoff an festen Oberflächen. Der Halt ist so stark, dass sie auch bei voller Fahrt am Schiff haften bleiben.

Der Reibungswiderstand nimmt durch den Biofouling-Bewuchs unter Wasser teils erheblich zu. Bei einer Rumpffläche von 2000 Quadratmetern und einer durchschnittlichen Bewuchshöhe von 4,5 Millimetern steigt der Treibstoffverbrauch eines Schiffes bereits um 40 Prozent. Neben zusätzlichen Kosten, längeren Fahrtzeiten, erschwelter Manövrierbarkeit und häufiger notwendiger Wartung der Schiffe gehen damit auch zusätzliche Schadstoffemissionen einher.

Am Fraunhofer IMWS in Halle haben Forscher in Kooperation mit dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, der bioplan GmbH und der Schiffswerft Barth einen wirksamen und umweltschonenden Schutz gegen dieses Bio-Fouling entwickelt: eine spezielle leitfähige Lackierung. Sie besteht aus mehreren Schichten, kann Strom leiten und hat während eines Langzeitversuchs in der Ostsee bereits bewiesen, wie gut sie funktioniert.

### Invasive Arten

Meeresorganismen, die als blinde Passagiere am Schiffsrumpf um die Welt reisen, können auch zur Bedrohung für die Umwelt werden: Sie erreichen innerhalb weniger Tage ganz neue Lebensräume. Wenn sie dort überleben können und zudem keine natürlichen Feinde haben, vermehren sie sich ungestört und bringen so die etablierten Ökosysteme durcheinander. Große Häfen werden so häufig zu Einfallstoren für diese Eindringlinge, allein in Nord- und Ostsee konnten sich jeweils schon 80 bis 100 exotische Arten ansiedeln. Ein wirksamer Antifouling-Schutz kann diese Gefahr reduzieren.





## Antifouling-Lacksystem – die Lösung

Das elektrisch leitende Antifouling-Lacksystem des Fraunhofer IMWS besteht aus mehreren Schichten und wird als Elektrode für die Elektrolyse genutzt. Durch die Lackschichten fließt ein schwacher Gleichstrom. Die äußere Schicht des Lacks fungiert dabei einmal als Anode, an der Sauerstoff entsteht. Dadurch wird die unmittelbare Umgebung sehr sauer, der pH-Wert sinkt. In regelmäßigen Abständen wird der Stromfluss umgepolt – die Lackschicht wird nun zur Kathode, an der Wasserstoff und damit ein basisches Milieu entsteht. Jetzt steigt der pH-Wert. Durch den ständigen Wechsel wird ein pH-Stress erzeugt, der die Ansiedlung von Organismen verhindert. Dieses Verfahren, von der bioplan GmbH patentiert, wurde vom Fraunhofer IMWS entscheidend weiterentwickelt.

Jede einzelne Lackschicht muss hinsichtlich Zusammensetzung, Dicke und elektrische Leitfähigkeit angepasst werden, damit sie der gleichzeitigen Belastung durch Salzwasser und Sonnenlicht standhält. Auf den Rumpf des Schiffes kommt zunächst eine Grundierung, die auch bei hohen Schiffsgeschwindigkeiten ausreichend haften muss. Darüber liegt eine Lackschicht, die mit hochleitfähigen Partikeln angereichert wurde. Sie muss den Strom möglichst gleichmäßig über die ganze Fläche des Rumpfs verteilen. An der Zusammensetzung dieser Schicht wurde besonders lange getüftelt: Wie hoch muss der Anteil der Mikro- und Nanopartikel sein? Sollten sie aus Graphit, Ruß, Kohlenstoffröhrchen oder Metallen bestehen? Wie bringt man sie in den Lack hinein und wie stellt man sicher, dass der Lack durch die Elektrolyse nicht selbst zersetzt wird? All diese Fragen mussten beantwortet werden. Ganz außen kommt schließlich eine Lackschicht hinzu, die möglichst glatt sein muss, um den Bewuchs zusätzlich zu erschweren. Auch diese oberste Lackschicht ist elektrisch leitfähig.

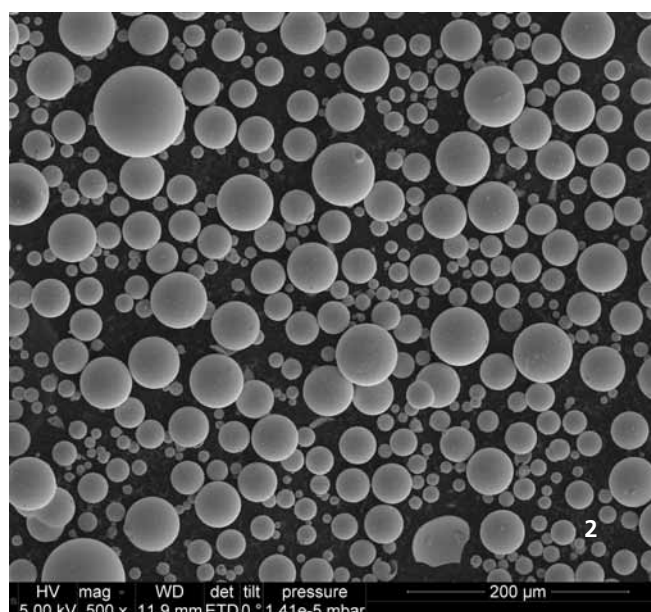
Mit einer elektronischen Steuerung kann man einstellen, wie schnell der Wechsel zwischen sauer und basisch im Wasser rund um das Schiff erfolgen soll. So lässt sich der Antifouling-Effekt an die jeweilige Situation anpassen. Denn bei geringer Geschwindigkeit, im Hafen oder in tropischen Gewässern ist

**1** Langzeitversuch in der Ostsee. Die einzelnen Testschwerter sind mit verschiedenen Lacksystemen beschichtet.

**2** Metallisch Füllpartikel – geeignet, um leitfähige Lackschichten zu erzeugen (Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme).

die Fouling-Gefahr deutlich größer als bei schneller Fahrt und bei niedrigen Wassertemperaturen.

Wie gut funktioniert der Antifouling-Lack? Um das herauszufinden, wurden verschiedene Metallstücke mit verschiedenen Varianten des Lacks beschichtet und dann im Wasser der Ostsee getaucht – 16 Monate lang. Es zeigte sich: Ohne stromdurchflossenen Lack bildet sich eine dicke Schicht aus Muscheln, Seepocken und anderen Organismen. Bei intervallweisem Stromfluss durch die Lackoberfläche bleiben die Metallstücke sauber. Auch ein Küstenboot wurde bereits mit der Antifouling-Technologie ausgestattet, der erste Versuch verlief ebenfalls erfolgreich. Ein weiterer Schiffsversuch wird vorbereitet.





1



2



3

## Nachhaltiger Biofouling-Schutz – die Vorteile

Schon in der Antike hatten die Seefahrer mit Unterwasser-Muschelbewuchs zu kämpfen und suchten nach Gegenmaßnahmen. Später wurden Farben mit metalloganischen Verbindungen (Tributylzinn) und anderen Bioziden angewandt, die auf den Rumpf aufgetragen wurden und einen Bewuchs verhinderten. Farben mit Tributylzinn sind mittlerweile verboten, andere oft sehr umstritten: Die giftigen Stoffe lösen sich nach und nach vom Schiff ab, reichern sich im Wasser und Meeresboden an und schädigen Pflanzen und Tiere. Auch die zurzeit häufig eingesetzten Anstriche mit Kupferverbindungen stehen im Hinblick auf ihre Umweltverträglichkeit in der Diskussion.

Ein nachhaltiger Schutz vor Biofouling ist nicht nur mit Blick auf die Umwelt wichtig, sondern auch wirtschaftlich: Die Weltmeere sind der wichtigste Transportweg für den globalen

Güterverkehr: Neun Milliarden Tonnen Waren werden jährlich transportiert. Das Meer wird dabei als Transportroute immer stärker genutzt: Gemessen in Bruttotonnen ist die weltweite Handelsflotte heute fast viermal so groß wie vor 40 Jahren. Die meisten Schiffe sind Massengutfrachter (41 Prozent), gefolgt von Rohöltankern (38 Prozent) und Containerschiffen (14 Prozent). Passagierschiffe machen nur 1 Prozent der weltweiten Schiffsflotte aus.

Weil die Frachter immer größer und schneller werden, haben sie einen entsprechend hohen Treibstoffverbrauch: Ein moderner Riesen-Frachter verbraucht rund 14.000 Liter Schweröl pro Stunde. Biofouling hat dabei enorme Auswirkungen: Durch den Bewuchs unter Wasser erhöht sich der Reibungswiderstand teils erheblich – damit steigen Spritverbrauch und Emissionen. Knapp 1 Milliarde Tonne CO<sub>2</sub> stößt die weltweite Schifffahrt pro Jahr aus, das entspricht circa 3 Prozent der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Eine Reduzierung des Treibstoffverbrauchs um 20 Prozent würde schon 200 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> einsparen – das ist so viel, wie Argentinien in einem Jahr ausstößt.

Auch für weitere Anwendungen jenseits der Schifffahrt ist die umweltfreundliche Antifouling-Beschichtung des Fraunhofer IMWS nutzbar, etwa für die Fundamente von Offshore-Windturbinen oder Bohrinseln, die ebenfalls vor Unterwasserbewuchs geschützt werden müssen.

**1** Die Giftstoffe in bisherigen Antifouling-Lackierungen gerieten häufig ins Meer und somit in die Nahrungskette.

**2** Rund 3 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen kommen aus der Schifffahrt. Ein wirksamer Antifoulingschutz reduziert den Treibstoffverbrauch und somit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

**3** Antifouling-Beschichtungen sind auch für Bohrinseln oder die Fundamente von Offshore-Windanlagen gefragt.

### Die Partner

Das Antifouling-Lacksystem wurde vom Fraunhofer IMWS in mehreren Projekten gemeinsam mit Partnern entwickelt:

- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig, [www.ufz.de](http://www.ufz.de)
- bioplan GmbH, Ostseebad Nienhagen, [www.bioplan-online.de](http://www.bioplan-online.de)
- Schiffswerft Barth GmbH, Barth, [www.barther-schiffswerft.de](http://www.barther-schiffswerft.de)

Mit freundlicher Unterstützung der Sulzer Mixpac AG, [www.sulzer.com](http://www.sulzer.com)