

FRAUNHOFER IFAM MACHT MIT ERFOLGREICHER F&E AUF DEM GEBIET DER FUNKTIONELLEN LACKSYSTEME AUF SICH AUFMERKSAM

Es klingt oft noch wie Zukunftsmusik, ist aber längst Realität: Funktionelle Oberflächen (Abb. 1). Mit unterschiedlichen Eigenschaften versehen, verringern sie beispielsweise den Strömungswiderstand von Flugzeugen und Schiffen. Sie vermindern Eishaftung, Verschmutzung, Erosion und Abrieb sowie Korrosion. Inzwischen gibt es sogar Oberflächen mit »selbsteinheilender« reparierender Wirkung. Die Abteilung Lacktechnik im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM hat auf dem Gebiet der funktionellen Oberflächen in den vergangenen Jahren beachtliche Ergebnisse erzielt. Durch ihre Arbeit, gemeinsam mit weiteren Fachgruppen und Abteilungen des Fraunhofer IFAM, gelang es, zahlreiche Anwendungen effizienter zu gestalten und sogar völlig neue Nutzungsmöglichkeiten zu schaffen. Dazu kommt ein umfangreiches Wissen, wenn es um das industrielle Lackieren auf höchstem technischem Niveau geht. Dank ihrer erfolgreichen Entwicklungstätigkeit, ihrer großen Erfahrung und der synergistischen Zusammenarbeit im Kompetenznetzwerk Klebtechnik und Oberflächen des Fraunhofer IFAM sind die Experten aus Bremen anerkannte und begehrte Ansprechpartner der Lackindustrie.

Ob es sich um Lacke bei Flugzeugen, Schiffen oder Windenergieanlagen dreht oder um Beschichtungen für Wärmetauscher und andere empfindliche Bauteile: Fast immer geht es bei den Entwicklungen der Lacktechnik des Fraunhofer IFAM darum, Reparatur- und Wartungszyklen auszudehnen, die Lebensdauer zu verlängern, den Wirkungsgrad zu erhöhen oder Energieeinsparungen zu ermöglichen. Für die industriellen Dienst-

leistungen der Abteilung sind wiederum die Aktivitäten ein gutes Beispiel, die in der Branche zur gesetzlich geforderten Umstellung von lösungsmittelhaltigen Lacksystemen auf umweltfreundlichere wasserlösliche Systeme geführt haben. Aktuell unterstützen die Lacktechnik-Spezialisten die Industrie vor allem bei der Optimierung von lacktechnischen Anwendungen, etwa zur Vermeidung von Kraterbildungen oder Schmutzeinschlüssen während des Lackierprozesses. Weitere Anstrengungen gehen in Richtung effizienterer Lackiermethoden, etwa durch neue Verfahren beim Lackauftrag oder Verbesserungen bei der Lacktrocknung.

»Ganzheitliche« Lösungen garantiert – zum Beispiel innovative Korrosionsschutzkonzepte

Bei ihrer Arbeit kommt der Lacktechnik die enge interne Vernetzung mit den anderen Kompetenzfeldern im Fraunhofer IFAM zugute, die »ganzheitliche« Lösungen garantiert. Wenn es um Fragen der Fehlervermeidung bei lacktechnischen Anwendungen geht, wird regelmäßig auf die Expertise der Abteilung Adhäsions- und Grenzflächenforschung zurückgegriffen. Auch für die Erarbeitung von Korrosionsschutzkonzepten profitieren die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IFAM von der engen internen interdisziplinären Vernetzung.



So entstand durch die Zusammenarbeit der Lacktechnik mit der Arbeitsgruppe Elektrochemie und Korrosionsschutz der Adhäsions- und Grenzflächenforschung sowie der Gießertechnik des Fraunhofer IFAM die Entwicklung eines neuen Korrosionsschutzpigments.

Beweggrund ist die Tatsache, dass die meisten Schäden an Metallbauteilen immer noch durch Korrosion hervorgerufen werden. Deshalb werden Metallbauteile oft mit Korrosionsschutzschichten versehen (Abb. 2). In den meisten Fällen werden Lacke für diesen Zweck eingesetzt. Häufig enthalten die Korrosionsschutzlacke Pigmente, die die Korrosion des Bauteils aktiv verhindern. Dabei wurde in der Vergangenheit oft auf chromathaltige Pigmente zurückgegriffen, die allerdings umwelt- und gesundheitsschädlich sind. Vor allem für Aluminiumlegierungen, die im Flugzeugbau verwendet werden, gestaltete sich die Suche nach Alternativen lange Zeit sehr schwierig.

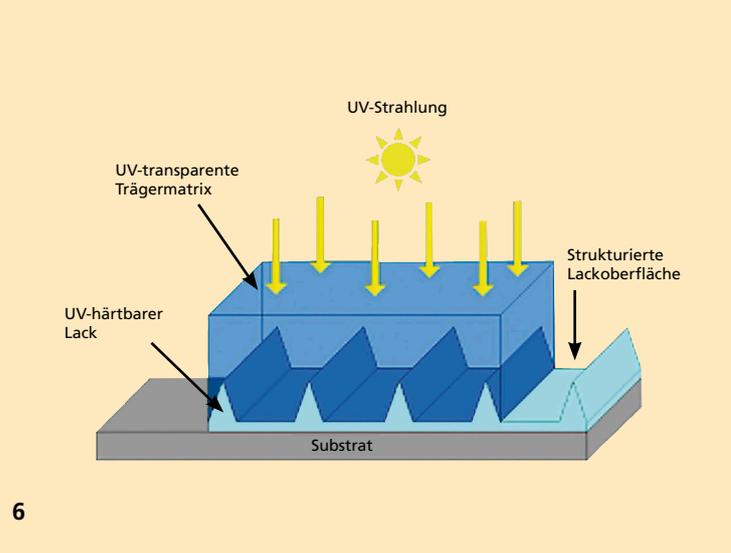
In einem Fraunhofer-internen Projekt der mittelstandsorientierten Eigenforschung (MEF) gelang es im IFAM schließlich, kathodisch wirksame, aus intermetallischen Magnesium-Zink-Phasen bestehende Metallpigmente zu entwickeln, die einen guten Korrosionsschutz gewährleisten (Abb. 3). Durch die elektrochemischen Eigenschaften der Pigmente lässt sich sowohl die Korrosion von Stahl als auch von Aluminiumlegierungen deutlich verringern. Und sie haben den großen Vorteil, weder für die Umwelt noch die Gesundheit ein Risiko darzustellen. Im Anschluss wurden gut funktionierende und leicht anzuwendende Korrosionsschutzlacke mit diesen Pigmenten entwickelt.

In lösungsmittelhaltigen Korrosionsschutzgrundierungen konnte nachgewiesen werden, dass die am Fraunhofer IFAM entwickelten Pigmente sehr gut wirksam sind. So trat an Substraten aus besonders korrosionsanfälligen Aluminiumlegierungen nach mehr als 10 000 Stunden im Salzsprühnebeltest im akkreditierten Korrosionsprüflabor des Fraunhofer IFAM keine Korrosion auf – nicht einmal an einer zu Versuchszwecken aufgetragenen Verletzung der Lackschicht.

Mit diesem Ergebnis gaben sich die Forscherinnen und Forscher von Lacktechnik sowie Elektrochemie und Korrosionsschutz immer noch nicht zufrieden. Es wurden weitere Entwicklungen vorangetrieben, um die Pigmente nicht nur in lösungsmittel-, sondern auch in wasserbasierten Lacken einsetzen zu können und somit eine noch größere Umweltfreundlichkeit zu erreichen. Da die Pigmente aber – ihrer Wirkungsweise entsprechend – sehr reaktiv in Verbindung mit Wasser sind, musste, um dieses Vorhaben realisieren zu können, eine spezielle variable Stabilisierung in wasserverdünnbaren Lacken entwickelt werden (Abb. 4): Die Stabilisierung isoliert die Pigmente im flüssigen Lack vom umgebenden Wasser, wird aber unwirksam, sobald der Lack als ausgehärtete Schicht vorliegt. Erste Korrosionsprüfungen zeigten bereits eine gute Schutzwirkung durch den wasserbasierten Lack mit stabilisierten Pigmenten.

Über die Stabilisierung von Korrosionsschutzpigmenten in wasserverdünnbaren Lacksystemen schrieben Anja Zockoll – Elektrochemie und Korrosionsschutz – und Andreas Brinkmann – Lacktechnik – einen Fachbeitrag im Branchenmagazin FARBE UND LACK, für den sie die Auszeichnung für den besten Fachartikel des Jahres 2010 erhielten (siehe Seite 94).

- 1 *Beispiel für funktionelle Oberflächen: Die als Hologramm sichtbare Nanostrukturierung des Lacks dient dem Produkt- und Markenschutz.*
- 2 *Untersuchung der Korrosionsbeständigkeit: Lackierte Probekörper nach der Auslagerung in der Salzsprühnebelkammer des Fraunhofer IFAM.*
- 3 *Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Magnesium-Zink-Pigmenten: Korrosionsschutz ohne Risiko für Gesundheit und Umwelt.*
- 4 *Unstabilisiertes Magnesium-Zink-Pigment (links) und stabilisiertes Magnesium-Zink-Pigment (rechts) bei Kontakt mit Wasser.*



Haifischhaut-Lacke verringern Strömungswiderstand

Preiswürdig war 2010 auch eine andere Entwicklung, an der Lacktechnik und Klebtechnische Fertigung des Fraunhofer IFAM seit vielen Jahren sehr erfolgreich arbeiten: Ein Lacksystem, das bei Großbauteilen den Strömungswiderstand deutlich verringert. Dr. Volkmar Stenzel und Yvonne Wilke – beide Abteilung Lacktechnik – sowie Manfred Peschka – Abteilung Klebtechnische Fertigung – erhielten für diese Innovation den Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2010 (siehe Seite 90). Seit 1978 zeichnet die Fraunhofer-Gesellschaft damit herausragende wissenschaftliche Leistungen von Forscherinnen und Forschern aus, die anwendungsnahe Probleme lösen. Dies ist dem Fraunhofer IFAM-Team gelungen, denn das neue Lacksystem kommt Forderungen der Europäischen Kommission entgegen, den Treibstoffverbrauch von Flugzeugen und Schiffen spürbar zu senken. Zudem werden Schiff- und Flugzeugbau ab 2012 in den Emissionshandel einbezogen, was in den Branchen für zusätzlichen Druck sorgt, den Kohlendioxid-Ausstoß zu senken.

Vorbild für die Struktur des im Fraunhofer IFAM entwickelten Lacksystems war die Natur. Die Schuppen schnell schwimmender Haie haben mikroskopisch kleine Rillen in Längsrichtung, sogenannte Riblets. Durch sie wird der Strömungswiderstand deutlich verringert. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM übertrugen dieses Wissen auf einen Lack (Abb. 5), der den extremen Anforderungen der Luftfahrt standhält – wie außerordentlich hohe Temperaturschwankungen von -55 bis $+70$ Grad Celsius, aggressive ultraviolette Bestrahlung und sehr hohe Geschwindigkeiten. Wichtiger Bestandteil des »Riblet-Lacks« sind Nanopartikel. Sie bewirken, dass der Lack den Höchstbelastungen überhaupt dauerhaft widersteht. Die Vorteile sind immens: Um Treibstoffeinsparungen von rund zwei Prozent zu erzielen, sind lediglich Investitionen in die Lackiertechnik notwendig. Denn Flugzeuge und Schiffe müssen ohnehin lackiert werden. Der Einsatz von »Riblet-Lack« ist also für Anwender weitestgehend kosten- und gewichtsneutral.

Neben dem günstigeren Strömungswiderstand hat der Lack weitere Vorteile: Er ist schmutzabweisend und durch die Nanopartikel gegenüber Abrieb und Erosion hochbeständig.

Der »Haifischhaut-Lack« lässt sich problemlos auf dreidimensional gekrümmte Flächen aufbringen, was bei im Vorfeld erprobten Lösungen mit strukturierten Folien nicht der Fall war. Denn die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IFAM haben auch gleich ein passendes Applikationssystem entwickelt. Dabei wird der mit Nanopartikeln versehene Lack mittels eines patentierten Rollenapplikators aufgebracht und mit Mikrorillen strukturiert. Anschließend wird er teilweise unter UV-Licht und teilweise durch chemische Reaktionen gehärtet (Abb. 6 + 7). Das Verfahren lässt sich über einen Roboter automatisch betreiben.

Wenn sich Risse selbst reparieren

Hochinteressant ist auch eine Entwicklung aus der Lacktechnik, die zu Beschichtungen mit einem Selbstheilungseffekt geführt hat. Die extremen Belastungen, denen Beschichtungen häufig ausgesetzt sind, führen oft zu Rissen. Diese haben letztlich eine Schwächung des Bauteils zur Folge. Windenergieanlagen beispielsweise sind sowohl den Umwelteinflüssen als auch einer sehr hohen Dynamik ausgesetzt, was nicht selten zu Beschädigungen der Oberflächen führt. Gerade in der Branche – verschärft noch bei Offshore-Windenergieanlagen – sind Wartungsarbeiten äußerst kostenintensiv, sodass selbstheilende Beschichtungen ein Fortschritt wären. Aber auch für Stahlbauten wie beispielsweise große Brücken und viele weitere Investitionsgüter, die einer hohen Beanspruchung standhalten müssen, wäre eine solche Beschichtung von Vorteil. Ähnlich erwünscht ist eine »Heilung« von Kratzern bei dekorativen Lacksystemen, etwa Autolacken.

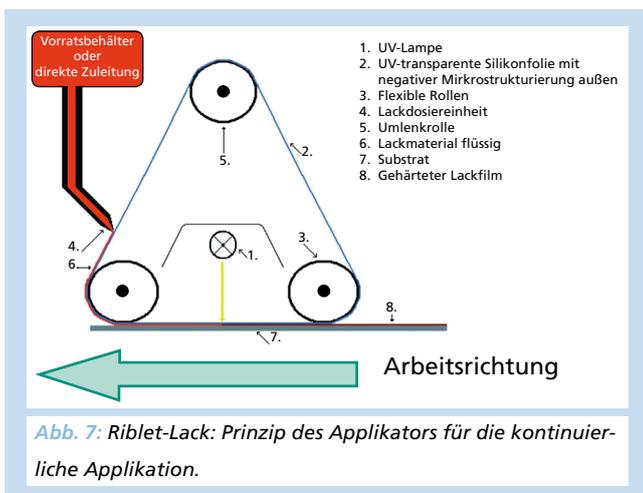
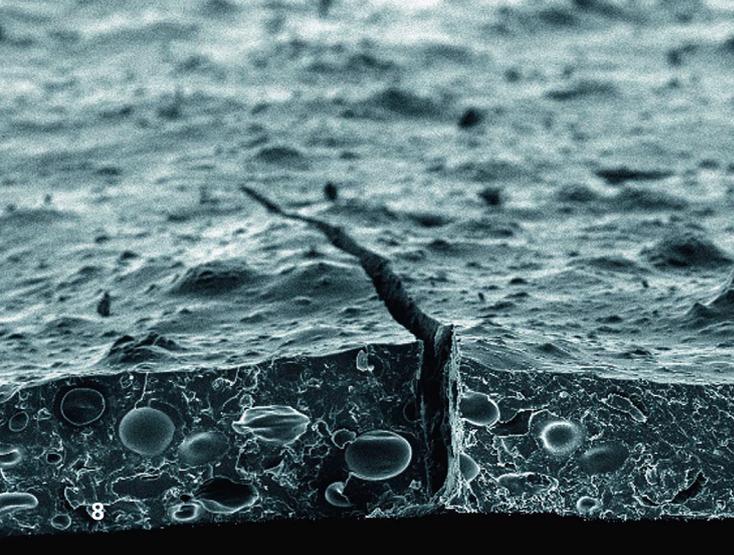


Abb. 7: Riblet-Lack: Prinzip des Applikators für die kontinuierliche Applikation.

Die in der Lacktechnik des Fraunhofer IFAM entwickelte Lösung basiert auf mikroverkapselten Wirkstoffen, die in die Beschichtung eingearbeitet werden. Wird die Beschichtung verletzt, reißen an dieser Stelle auch die Mikrokapseln auf. Sie enthalten ein Heilungsreagenz, das die Risse sofort wieder verschließt (Abb. 8 + 9). Unbehandelte Risse würden im Normalfall schnell tiefer werden und sich ausweiten, was bald Materialschäden zur Folge hätte. Durch die Mikrokapseln kommt es nicht dazu. Die dadurch mögliche Verlängerung der Wartungsintervalle und seltenere Reparaturen führen zu spürbaren Kosteneinsparungen, was die Wirtschaftlichkeit von Anlagen in verschiedenen Branchen erhöht. Dabei sind die Ansprüche an die Mikrokapseln sehr komplex: Sie müssen lösungsmittelbeständig und dispergierbar sein, sich also unzerstört in den Lack einarbeiten lassen, gleichzeitig ist es unabdingbar, dass die Mikrokapseln auch den Auftrag mit Spritzpistolen überstehen. Zudem sollen sie mit der Matrix einen Verbund bilden und langzeitbeständig im Lack lagern. Im »Bedarfsfall« müssen sie zuverlässig aufbrechen und den Riss wieder verschließen. Um diese Erfordernisse für unterschiedliche Anwendungsfälle zu erfüllen, werden die Mikrokapseln im Fraunhofer IFAM für die jeweiligen Lacksysteme »maßgeschneidert« und hinsichtlich ihrer Funktionalisierung intensiv geprüft.

Strategien gegen die Vereisung

Ebenso attraktiv für Wirtschaft und Industrie sind die Aktivitäten der Abteilung Lacktechnik zu Anti-Eis-Beschichtungen. Eine Verminderung oder sogar völlige Vermeidung von Eisbildung an Oberflächen ist für viele Branchen interessant, denn Eisbildung verursacht hohe Kosten. Bekanntestes Beispiel ist die Enteisung von Flugzeugen. Erlebbar ist dies für Passagiere nur vor dem Start; doch auch während des Flugs wird enteist, wenn sich in großen Höhen Eiskristalle an den Tragflächen bilden. An Strommasten oder Windenergieanlagen kann Eisbildung – vor allem bei extremen Wetterlagen wie beispielsweise im November 2005 im Münsterland – zu irreparablen Schäden führen; außerdem produzieren vereiste Rotorblätter von Windenergieanlagen weniger Energie und bergen die Gefahr von Eisabwurf. Auch bei Schienenfahrzeugen, Schiffen, Autos, Kühlaggregaten und Rollläden ist Vereisung ein großes Problem. Allen Bereichen gemein ist, dass sich Stillstands- und Wartungszeiten sowie aufwendige Reparaturen zu erheblichen finanziellen Mehrbelastungen aufsummieren.

Die Lacktechnik des Fraunhofer IFAM arbeitet an unterschiedlichen Ansätzen, um Lösungen für die Vereisungsproblematik zu finden. Dazu hat sie eine Vereisungskammer entwickelt, in der fast jedes Vereisungsszenario auf Oberflächen und Beschichtungen nachgestellt werden kann – mit unterschiedlichen Luft- und Substrattemperaturen sowie Luftfeuchtigkeiten, Regen- und Windsimulationen und vielem mehr (Abb. 10). Dazu kommen Freibewitterungen unter realen Bedingungen auf einem Eis-Teststand, der sich in 1141 Meter Höhe auf dem

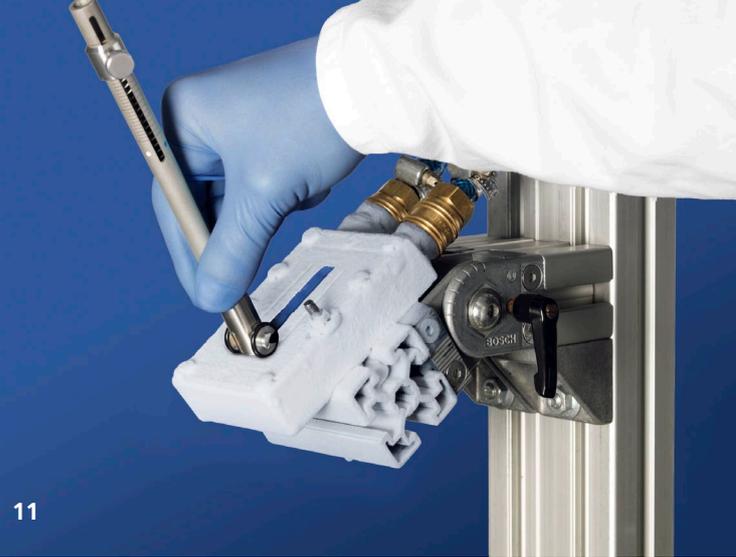
- 5 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer riblet-strukturierten Lackoberfläche.
- 6 Riblet-Lack: Prinzip der Applikation.
- 8 Beschädigte Beschichtung mit mikroverkapselten Heilungsreagenzien.
- 9 Aus einer verletzten Mikrokapsel tritt Heilungsreagenz aus.



Brocken im Harz befindet. Primär werden von den Forscherinnen und Forschern des Fraunhofer IFAM Reif-Adhäsions-Tests zur Simulation von Bereifung (Abb. 11), Eis-Regen-Tests zur Simulation der Eisbildung von Regenwasser und sogenannte Runback-Eis-Tests an Modellen von Flügelprofilen (Abb. 12) durchgeführt.

Ziel der Lacktechnikexperten ist es, die Eisbildung mit unterschiedlichen Strategien zu minimieren oder zu verhindern. Dabei profitieren sie von ihrem breiten Wissen in puncto Oberflächenvorbehandlung, Lackentwicklung und Lackprüfung. Erforscht werden beispielsweise extrem wasserabweisende Lacke, die eine Anhaftung von Wasser effektiv verhindern – und wo kein Wasser ist, kann auch kein Eis entstehen. Ein anderer Weg ist die Entwicklung von biomimetischen Anti-Eis-Oberflächen auf der Basis von Anti-Freeze-Proteinen. Hier ist die Natur ein Vorbild: Es gibt beispielsweise Insekten, Fische oder Pflanzen, die dank vorhandener »Frostschutzproteine« auch bei –60 Grad Celsius frostfrei existieren können. In der Abteilung ist man gemeinsam mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Abteilung Klebstoffe und Polymerchemie mit der Verbindung von technischen Lackoberflächen mit synthetisch hergestellten Anti-Freeze-Proteinen beschäftigt. Ein weiterer Ansatz sind Oberflächen mit mikroskopisch kleinen Strukturen, durch die das Anhaften von Eis ebenfalls verhindert werden kann.

Bei ihrer Arbeit nutzt die Lacktechnik auch die Zusammenarbeit mit der Adhäsions- und Grenzflächenforschung des Fraunhofer IFAM: Die maßgeschneiderten Untersuchungen zu den Mechanismen der Eisbildung und Eisanhaftung auf verschiedenen Oberflächen sowie die computergestützte Simulationen der Experten der Arbeitsgruppe Applied Computational Chemistry unterstützen und beschleunigen die Forschungsarbeit erheblich.



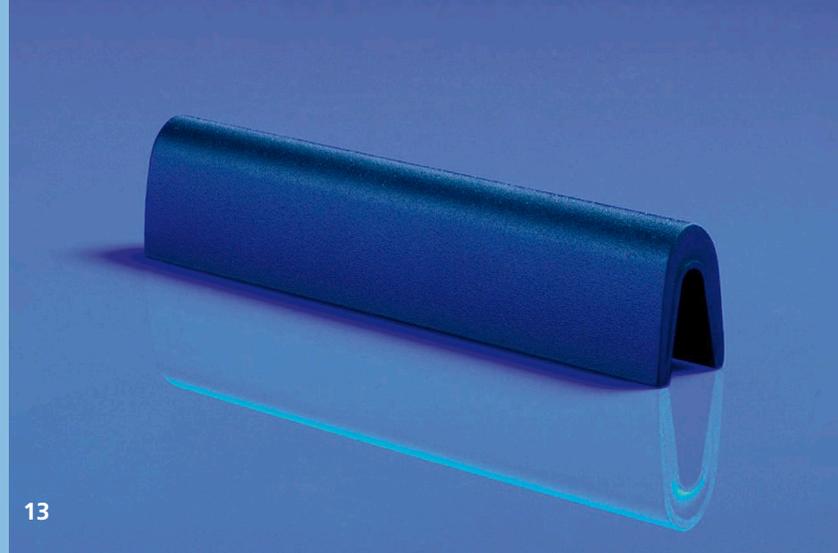
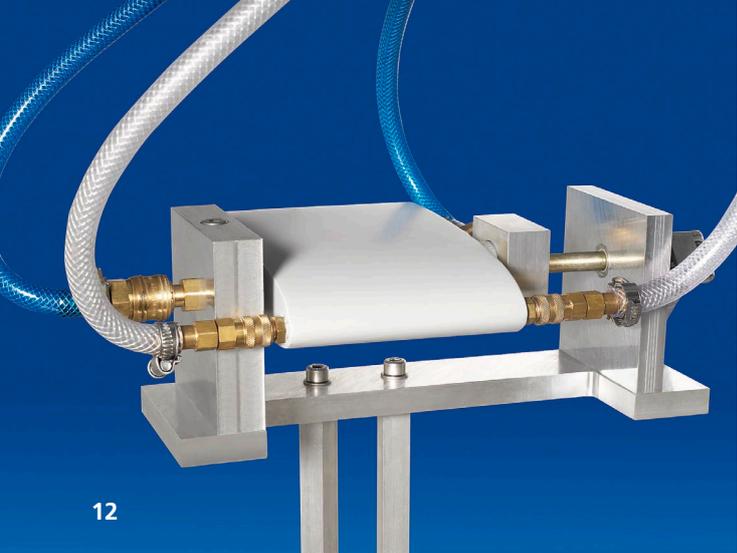
Schmutzabweisende Oberflächen

Nicht nur Eis und Reif sind in vielen Branchen problematisch. Auch die Verunreinigung von Oberflächen ist vielfach unerwünscht. Denn oftmals erfordert dies zum Erhalt der vollen Leistungsfähigkeit von Anlagen regelmäßige Reinigungen, was ein nicht zu unterschätzender Kostenfaktor ist. Als Beispiel sei hier wiederum eine Windenergieanlage angeführt: Die Kontamination durch Insektenrückstände in den Sommermonaten führt zu Effizienzeinbußen von bis zu fünf Prozent, bei bestimmten Windgeschwindigkeiten sogar noch darüber. Grund ist eine Änderung des aerodynamischen Profils durch die Insektenrückstände. Mit verschiedenen Herangehensweisen entwickelt die Lacktechnik auch für Herausforderungen dieser Art Beschichtungen und Lacke, die ein Anhaften effektiv verhindern.

Oberflächen werden widerstandsfähiger

Eine weitere Herausforderung sind erosions- und abriebfeste Beschichtungen. Sand und Regen wirken bei vielen Bauteilen auf Dauer wie eine Behandlung mit Schleifpapier und schädigen die Oberflächen. Gleiches gilt überall dort, wo zwei Bauteiloberflächen aufeinander reiben – der starke Verschleiß verkürzt die Lebenszeit von Bauteilen und erhöht Wartungs- sowie Reparaturzeiten. Die Abteilung Lacktechnik hat es sich auf dem Gebiet zur Aufgabe gemacht, mit unterschiedlichen Konzepten die Widerstandsfähigkeit von Oberflächen deutlich zu erhöhen und Beschichtungen mit Eigenschaften zu versehen, die Bauteile resistenter gegen Erosion und Abrieb machen (Abb. 13).

Dabei ist die Belastung der Oberflächen je nach Anwendungsbereich sehr verschieden, sodass angepasste Lösungen entwickelt werden müssen: Der Oberflächenschutz bei einem Flugzeug ist ein anderer als bei Windenergieanlagen. In der



Fraunhofer IFAM-Lacktechnik werden dafür hochoerosionsbeständige Beschichtungen mit verstärkenden Füllstoffen – beispielsweise Nanopartikeln – auf anorganischer und organischer Basis neu entwickelt und bereits verwendete Systeme um diese Funktionen erweitert (Abb. 14). Für reibende Beanspruchungen wird an hochfesten Beschichtungen mit minimalem Reibungswiderstand gearbeitet, die mit speziellen Gleit- und Antiblockiereigenschaften besonders gut für diese Verwendung geeignet sind. Auch für den Forschungs- und Entwicklungsbereich stehen der Lacktechnik hochmoderne Prüf- und Analysegeräte zur Verfügung, um die für die jeweilige Anforderung optimale Lösung zu realisieren.

Das breite Wissen der Abteilung sowohl hinsichtlich lacktechnischer »Alltagsfragen« wie auch neuester technologischer Ansätze macht das Fraunhofer IFAM zu einem bewährten Partner der Lackindustrie. Dabei handelt es sich um eine Branche, die in Deutschland jährlich mehr als 2,5 Millionen Tonnen Lacke und Druckfarben herstellt und verarbeitet. Ihre volkswirtschaftliche Bedeutung ist immens, denn erst durch Lacke und Beschichtungen wird ein gezielter Oberflächenschutz möglich. Er erhält Materialien im Wert von vielen Milliarden Euro, die sonst durch Korrosion und Verschleiß dem Verfall ausgesetzt wären und häufig erneuert werden müssten. Und

dieser Oberflächenschutz wird immer besser – nicht zuletzt dank der Arbeit der Lacktechnik-Experten aus Bremen.

KONTAKT

Dr. Volkmar Stenzel
Lacktechnik
Telefon +49 421 2246-407
volkmar.stenzel@ifam.fraunhofer.de

Dr. Stefan Dieckhoff
Adhäsions- und Grenzflächenforschung
Telefon +49 421 2246-469
stefan.dieckhoff@ifam.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Manfred Peschka
Klebtechnische Fertigung
Telefon +49 421 2246-524
manfred.peschka@ifam.fraunhofer.de

Institut

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bereich Klebtechnik und Oberflächen, Bremen

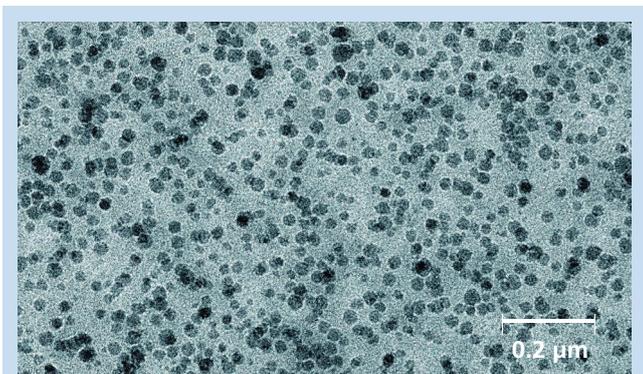


Abb. 14: Siliziumnanopartikel in einer Dual-Cure-Beschichtung zur Erhöhung der Abriebbeständigkeit.

- 10 Im Fraunhofer IFAM entwickelte Vereisungskammer zur Untersuchung von Anti-Eis-Beschichtungen.
- 11 Beurteilung der Reifhaftung durch den am Fraunhofer IFAM entwickelten Reif-Adhäsions-Test.
- 12 Im Fraunhofer IFAM entwickelte Messvorrichtung für den Runback-Eis-Test an Flügelprofilen.
- 13 Erosionsbeständige Elastomerbeschichtung auf einem Flügelvorderkantenprofil.