

Das Eis brechen



Quelle: zhuxiaophotography - stock.adobe.com

EISSCHUTZBESCHICHTUNGEN // DIE ENTWICKLUNG VON FUNKTIONSLACKEN IST HÄUFIG VOM WACHSENDEN BEDARF AN ENERGIEEFFIZIENTEN UND UMWELTFREUNDLICHEN TECHNOLOGIEN GETRIEBEN. MATERIALIEN, MIT DENEN OBERFLÄCHEN EISFREI BLEIBEN, SIND NICHT NUR FÜR LUFTFAHRTANWENDUNGEN VON GROSSEM INTERESSE. SIE STEHEN DAHER IM FOKUS AKTUELLER ENTWICKLUNGSARBEITEN.

Sascha Kull, Maria Mihhailova, KRD Coatings, Nadine Rehfeld und Claus Schreiner, Fraunhofer IFAM

Strategien zum Erhalt eisfreier Oberflächen sind vielfältig und reichen von der chemischen Modifikation auf molekularer Ebene, über die gezielte Strukturierung der Oberfläche hin zu klassischen elektrothermischen Heizsystemen. Diese Ansätze auf optisch hochwertige und transparente Sicherheitsscheiben zu übertragen, stellt eine zusätzliche Herausforderung dar. Dies soll erreicht werden, indem nanoskalige Materialien eingesetzt werden, die besondere Herausforderungen an die Verarbeitung stellen. Aktuell werden transparente Beschichtungen für Eisschutzsysteme von Helikopter-Scheiben entwickelt (HEATS - Heizbare, Anti-Eis-funktionalisierte und transparente Sicherheitsverbundscheiben), gefördert durch das BMWK im Programm LuFo VI-1; FKZ: 20Q1960B). Der Mehrschichtaufbau soll Funktionen zum elektrothermischen sowie IR-basierten Beheizen, für den UV-Schutz von Polycarbonat-Scheiben und Anti-Eis-Oberflächen für ein energieeffizientes Eisschutzsystem enthalten (Abb. 1).

Die Projektidee

Durch die Verwendung eines Polycarbonat-Mehrfachlaminats werden weitere Flächen zur Applikation der Funktionsschichten geschaffen und vereinen diese mit der verbesserten mechanischen Belastbarkeit der Verbundscheibe (Abb. 2).

Das mechanische Grundgerüst stellen transparente Kunststoffkerne aus Polycarbonat (PC) dar, die jeweils auf beiden Seiten mit einer Funktionsschicht versehen werden können. Zur Außenseite hin befindet sich als äußerste Schicht (unten) die eisphobe Beschichtung, welche auf der zum Schutz des Kunststoffes notwendigen UV-Schutzschicht aufgebracht wird. Zwischen den Kunststoffscheiben befinden sich sowohl die passive als auch die aktive elektrische Heizschicht – eingebettet in thermoplastischen Weichschichten (TPW). Diese Heizschichten sind innerhalb der Verbundscheibe gegen mechanische Beanspruchung geschützt und erwärmen die Sichtscheibe von innen heraus.

Die Kombination verschiedenster Funktionen in eine transparente Sicherheitsscheibe stellt eine große Herausforderung dar und zielt auf den Einsatz im Luftfahrtbereich zum energieeffizienteren Transport. Ein Transfer in Anwendungen, wie der Automobil- oder Gebäudetechnik, ist außerdem geplant.

Transparente Widerstandsheizschichten

Die technologischen Herausforderungen liegen hier in der erforderlichen Transparenz der Beschichtungen. Daher sind nanoskalige Funktionspigmente im Fokus, für die geeignete Dispergier- und Stabilisierungsmethoden zur Applikation auf Kunststoffsubstraten erarbeitet wurden. Bei den elektrothermischen Schichten, die als Widerstandsheizener funktionieren, wurden metallische als auch auf CNT-basierte Rohstoffe untersucht. Die Testscheiben zeigten elektrische Widerstände im leitenden Bereich (< 1 kΩ), und durch die Optimierung der Applikationsparameter und des Untergrunds konnte eine Testscheibe mit reduzierter Trübung (Weißlichtstreuung) hergestellt werden. Die erzielten Schichtwiderstände zeigten die erhoffte Funktion, die an zuvor auf -10°C abgekühlten Testscheiben demonstriert werden konnte (Abb. 3).

Mit einer Wärmebildkamera wurde das Erwärmen der Oberfläche mittels einer transparenten Widerstandsheizschicht über einen Zeitraum von 10 min bei Raumtemperatur verfolgt. Die mit nanoskaligen Funktionspigmenten ausgestattete Scheibe (untere Bildreihe in Abb. 3) zeigte eine deutlich schnellere und auch homogene Erwärmung im Vergleich zur unbeheizten Referenzfläche (obere Bildreihe in Abb. 3). Weiterführende Tests zur Performance unter Vereisungsbedingungen folgen im weiteren Projektverlauf.

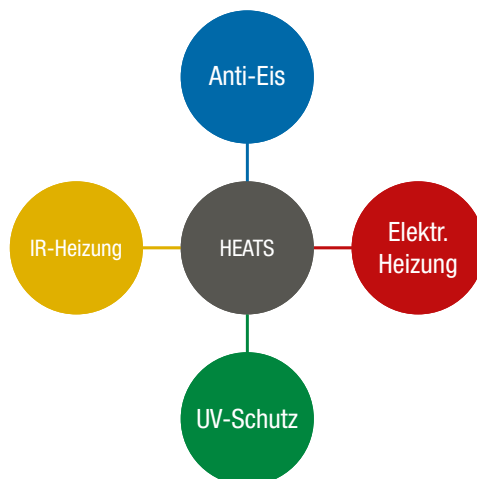


Abb. 1 // Darstellung der vier Themengebiete im HEATS-Projekt.

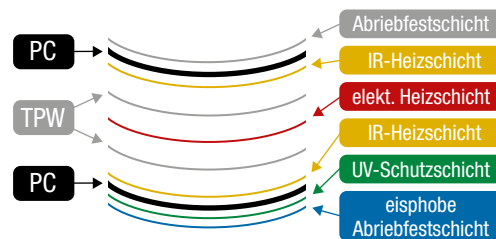


Abb. 2 // Mehrschichtaufbau, der die verschiedenen Funktionsschichten vereint.

Ergebnisse auf einen Blick

- Funktionelle Beschichtungen werden in einem Eisschutzsystem zusammengefügt.
- Nanoskalige Rohstoffe kommen zum Einsatz, um transparente Schichten zu erhalten.
- Elektrothermische Heizschichten unter Verwendung von metallischen oder kohlenstoffbasierten Rohstoffen können das Aufheizen des Verbundmaterials gewährleisten.
- IR-absorbierende Schichten können zur Erwärmung der Oberfläche beitragen und verhindern ein Aufheizen des Innenraums.
- Polycarbonat-Scheiben können mittels entwickelter Schutzschichten vor schädigender UV-Strahlung geschützt werden.
- Anti-Eis-Beschichtungen können den Energiebedarf von Heizsystemen signifikant reduzieren.

Tab. 1 // Oberflächeneigenschaften beispielhaft für Beschichtungen zur Korrelationsuntersuchung.

Material	Kontaktwinkel Wasser in °	OFE in mN/m	Abrollwinkel Wasser in °	Rauigkeit Ra in µm
PUR-Referenz	70	42	42	0,13
PUR + 1 % Silikon-Additiv	105	19	22	0,15
PUR + 1 % Fluor-Additiv	105	19	65	0,16

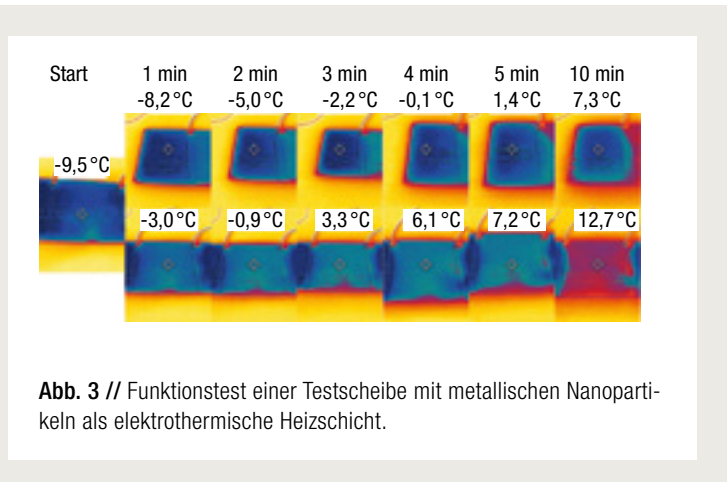
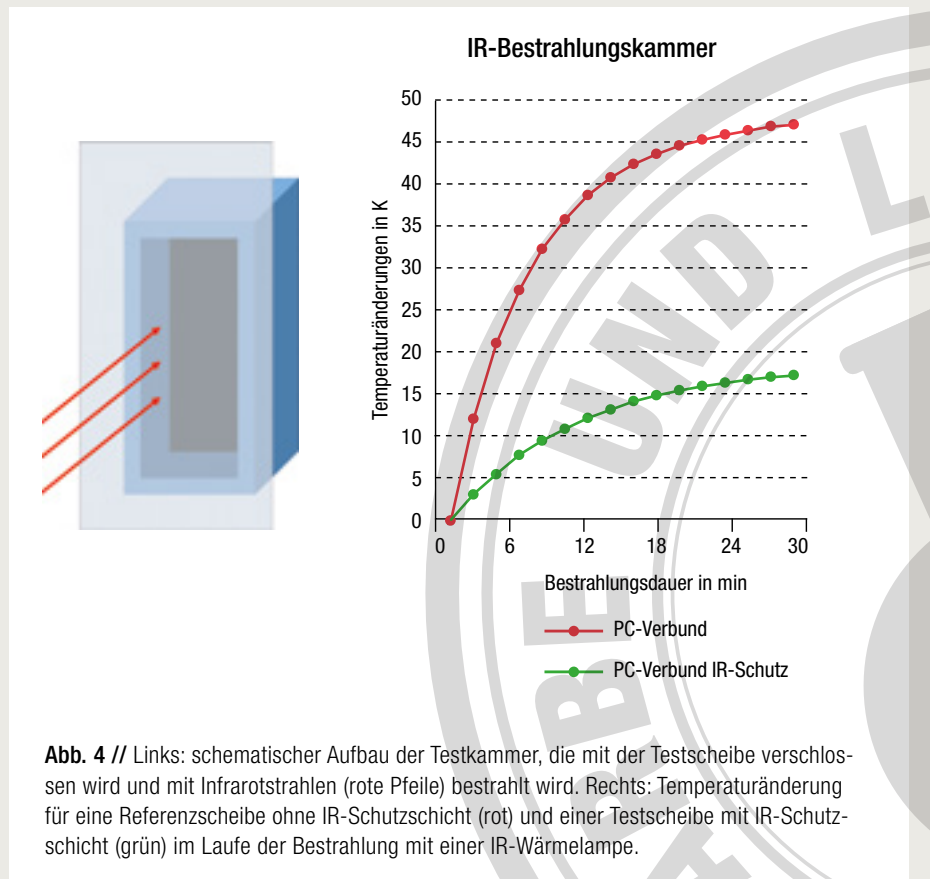


Abb. 3 // Funktionstest einer Testscheibe mit metallischen Nanopartikeln als elektrothermische Heizschicht.

Transparente IR-absorbierende Heizschichten

Darüber hinaus ist es gelungen, IR-Strahlen-absorbierende Schichten auf Basis von mineralischen Nanopartikeln zu entwickeln und zu prüfen. In einer Testkammer wurde festgestellt, dass durch die IR-absorbierende Schicht das Aufheizen der Prüfkammer durch Wärmestrahlung verringert werden konnte. Der Aufbau der Kammer ist schematisch in Abb. 4 dargestellt: Sie ist an der schwarz lackierten Rückseite und an der die Kammer verschließenden Probenplatte mit Temperaturmessfühlern versehen. Diese zeichnen die Temperaturänderung in der Kammer in Folge der Bestrahlung mit Infrarotwärmestrahlung auf.

Die Referenzscheibe zeigte über den Zeitraum der ersten 5 min einen Anstieg der Scheibentemperatur um 3K auf 27 °C, während sich die Scheibe mit dem IR-Schutz als passive Heizung im gleichen Zeitraum um 8K auf 32 °C erwärmte. Besonders deutlich wird hier auch der Wärmeschutz-Effekt am hinteren Messpunkt, welcher ein dunkles Armaturenbrett simulieren soll. In einer halbstündigen Bestrahlung wird eine Temperaturerhöhung um 47 K auf knapp 70 °C gemessen, während die entwickelte IR-absorbierende Schicht die Erwärmung um 25 K auf ca. 45 °C reduzieren konnte (Abb. 4). Die Wärmeenergie wird dabei von der Scheibe aufgenommen und trägt auf diese Weise mit einem passiven Heizungseffekt zur eisfreien Sichtscheibe bei.



UV-Schutz für Polycarbonat

Zur Gewichtseinsparung wird in der Entwicklung der Sicherheitsscheibe auf den leichten und gleichzeitig schlagzähen Kunststoff Polycarbonat gesetzt. Dieser kann unter Erhalt der hohen optischen Qualität in der Geometrie verändert und so an verschiedene Karosserien angepasst werden. Das UV-empfindliche Polycarbonat muss mit einer UV-Schutzschicht versehen werden, die zeitgleich als haftvermittelnder Untergrund für die eisphobe Funktionsbeschichtung dient. Dabei wurde der Fokus auf innovative Lichtschutzmittel auf Basis mineralischer Nanopartikel gelegt, denn diese zeichnen sich durch eine hohe Transparenz und Langzeitstabilität aus.

Diese nanoskaligen UV-Absorber wurden auf ihre Verarbeitung hin zu stabilen Dispersionen, der Kompatibilität in transparenten Beschichtungssystemen und letztendlich der schützenden Wirkung vor UV-Strahlung untersucht. Zahlreiche Materialien – in gebrauchsfertigen Dispersionen oder Pulverform – wurden verarbeitet und untersucht. Systeme aus anorganischen UV-Absorber-Nanopartikeln konnten zu einer transparenten, haftvermittelnden Schutzschicht verarbeitet werden. Dabei galt es auch zu gewährleisten, dass die finale eis-

phobe Beschichtung auf diese Schutzschicht appliziert werden kann und das Gesamtsystem in Optik, Lackhaftung und Funktionen den hohen Ansprüchen in der Luftfahrt überzeugt. Übergangsmetalloxide, wie z. B. Titandioxid, Zinkoxid oder Ceroxid, wurden als Nanopartikeldispersionen oder Pulver bezogen und hinsichtlich ihrer Transparenz im Rohzustand und der photokatalytischen Aktivität unter UV-Bestrahlung untersucht. Dabei zeigte sich ein deutlicher Unterschied in der Zersetzung einer Farbstoff-Lösung, wenn diese mit den Nanopartikeln versetzt mit UV-Licht bestrahlt wird. Die Farbstofflösung repräsentiert die lackeigene Bindemittelmatrix in der Beschichtung, welche durch photokatalytisch stark aktive Nanopartikel selbst zersetzt werden kann. Während der UV-Absorber 1 (UVA-1) über den Testzeitraum von einer Stunde nur eine geringe Verringerung der Absorption durch den Farbstoff zeigt, ist für UV-Absorber 2 (UVA-2) eine deutliche photokatalytische Aktivität erkennbar, verbunden mit der kompletten Entfärbung der Farbstofflösung nach 30-minütiger Bestrahlung (Abb. 5). UVA-2 erscheint somit ungeeignet für den angestrebten Einsatz als Schutz für das Polymersubstrat.

In simulierten Bewitterungstests wurden geeignete UV-Absorber für die Lackformulierung verwendet und damit beschichtete Kunststoffproben sonnenähnlicher UV-Strahlung kombiniert mit Nässezyklen ausgesetzt. Am Beispiel von ungeschütztem PC und zwei formulierten UV-Schutzschichten, dessen Gelbwertänderung in Abb. 6 dargestellt ist, konnte die erfolgreiche Integration der UV-Absorber-Nanopartikel in die UV-Schutzschicht gezeigt werden. Bei der Zersetzung des Polycarbonats infolge von Bestrahlung mit UV-Strahlung, bilden sich Abbauprodukte, die den Kunststoff gelb färben. Anhand der Farbänderung des Materials, zusammengefasst als messbarer Gelbwert-Index, kann die Degradation des Kunststoffs durch einen Anstieg nachvollzogen werden. Der nur geringe Anstieg der Gelbwertänderung gegenüber dem unbeschichteten PC zeigt, dass in der Lackvariante 1 (UV-Lack 1) ein wirksamer UV-Schutz vorhanden ist, während in der Lackvariante 2 (UV-Lack 2) kein Schutz vor der UV-Strahlung erfolgt. Die verwendeten UV-Absorberrnanopartikel bei der Verarbeitung zur Lackvariante 2 erwiesen sich als nicht stabil gegenüber dem Lacksystem und lösten sich im Verarbeitungsschritt auf. Auf Basis der vielversprechendsten UV-Absorber-Nanopartikel werden UV-Schutzschichten weiterentwickelt, welche als Haftvermittler zwischen Substrat und eisphober Beschichtung Verwendung finden. Die erhaltene Kombination aus UV-Schutzschicht und eisphober Deckschicht zeichnet sich durch eine hohe Transparenz und geringere Trübung aus.

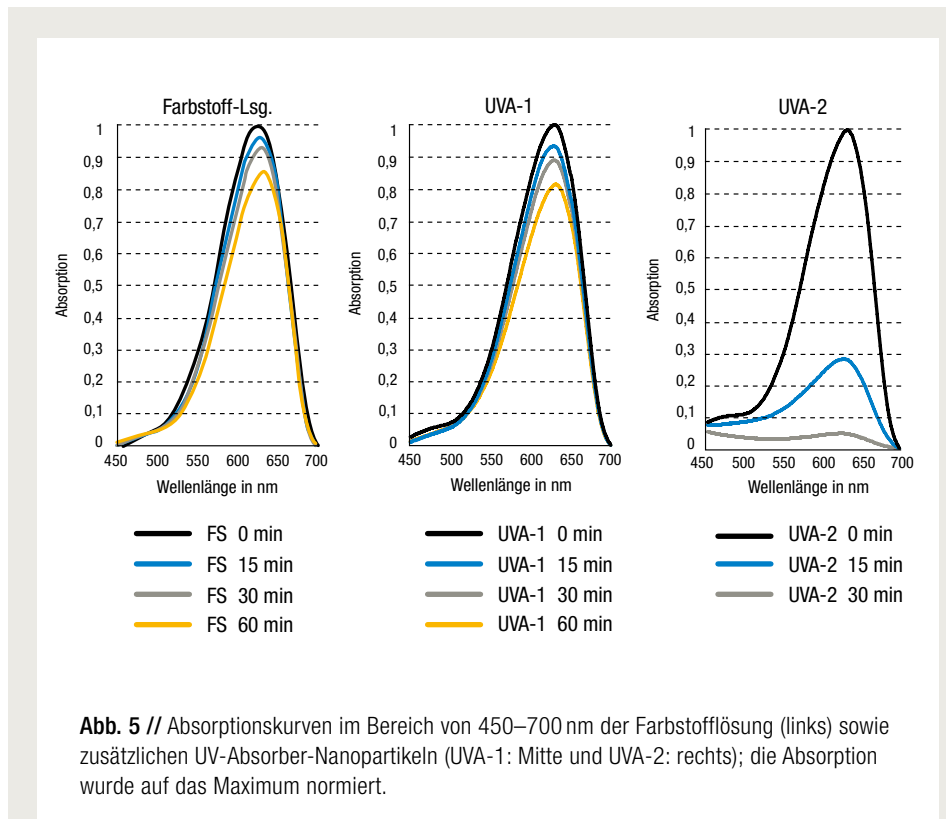


Abb. 5 // Absorptionskurven im Bereich von 450–700 nm der Farbstofflösung (links) sowie zusätzlichen UV-Absorber-Nanopartikeln (UVA-1: Mitte und UVA-2: rechts); die Absorption wurde auf das Maximum normiert.

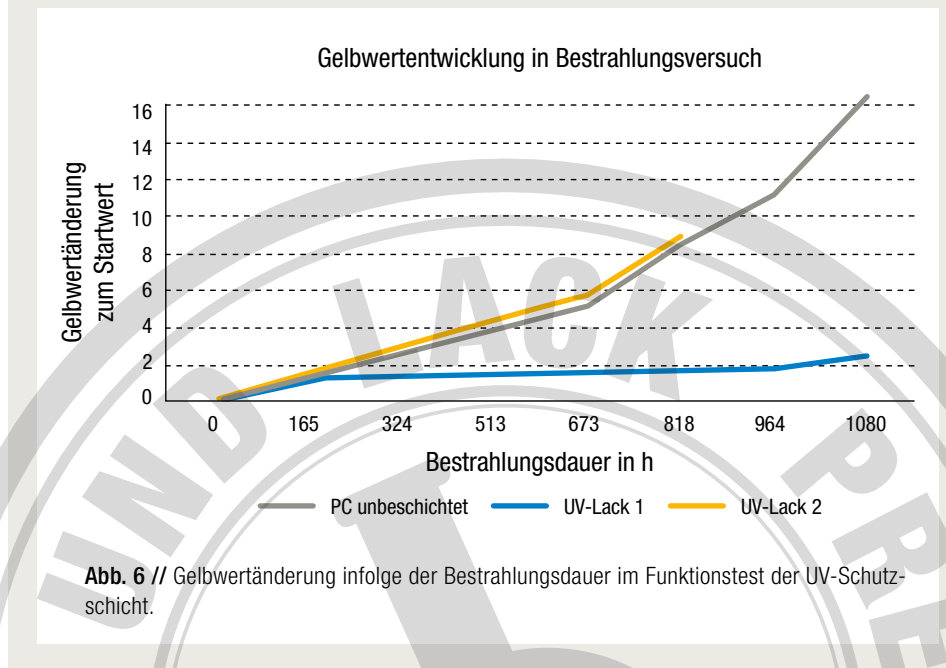


Abb. 6 // Gelbwertänderung infolge der Bestrahlungsdauer im Funktionstest der UV-Schutzschicht.

Anti-Eis-Beschichtung

Im Bereich der Luftfahrt stellt die Eisbildung ein hohes Sicherheitsrisiko dar. Bei Sichtscheiben ist z. B. die Durchsicht beeinträchtigt. Um Vereisungen zu entfernen bzw. zu verhindern, wird daher viel Energie zum Beheizen von Scheiben benötigt. Mit der Entwicklung einer transparenten eisphoben Beschichtung soll der Energiebedarf zum Erhalt einer eisfreien Sichtscheibe deutlich verringert werden. Sie stellt nicht nur

die Grenzfläche zum Eis dar, sondern tritt als äußerste Schicht der Sicherheits Scheibe in direkter Wechselwirkung mit der Umgebung. Dadurch werden die Anforderungen an eine Anti-Eis-Beschichtung sowohl um die Beständigkeit gegenüber Witterungseinflüssen als auch mechanischen Belastungen, wie z. B. Erosion durch Sand, ergänzt. Auf Basis eines abriebbeständigen Lacksystems, welches diese mechanischen Anforderungen erfüllt, wurden verschiedenste Additive zur Modifikation der Beschichtungs-

oberfläche untersucht und nach Kompatibilität (optische Anforderungen) sowie eisphobe Eigenschaften bewertet.

In einem Additiv-Screening wurden Korrelationsuntersuchungen hinsichtlich Oberflächeneigenschaften und Anti-Eis-Eigenschaften durchgeführt. Hierzu wurden zum einen Oberflächeneigenschaften, wie z. B. die Oberflächenenergie, der Wasserabrollwinkel und auch die Rauigkeit, bestimmt. Zum anderen wurden Vereisungstests zur Eisbildung und zur Eishaftung durchgeführt. In *Tab. 1* sind beispielhaft Ergebnisse für die gemessenen Oberflächeneigenschaften dargestellt.

Die Eistests zielen u. a. auf die Quantifizierung der zu erwartenden Energieeinsparungen des aktiven Heizsystems ab, die durch den Einsatz der Beschichtung zu erwarten ist. Hierzu wurde ein Test entwickelt, in dem in einem Eiswindkanal beschichtete Proben in einem beheizbaren Probenhalter vereist werden (*Abb. 7*). Im Anschluss wird das Heizsystem gestartet und die Zeit gemessen, bis das Eis von der Oberfläche entfernt ist.

Für die getestete PUR-Referenz wurden im Test Eis-Shedding-Zeiten > 120 s gemessen. Das unmodifizierte Material (*Tab. 1*) gilt als Vergleichsoberfläche, um Verbesserungen durch die Modifizierungen feststellen zu können. Für das mittels Fluoradditiv modifizierte Lackmaterial wurden Shedding-Zeiten von 35 s gemessen, eine Reduzierung von mehr als 70 %. Für die Silikon-modifizierte Oberfläche verringerte sich die Zeit weiter auf 22 s, was eine Beschleunigung um mehr als 80 % bedeutet. Ein Vergleich mit den gemessenen Oberflächeneigenschaften zeigt, dass keine direkte Korrelation mit den Eistestergebnissen besteht. Vielmehr haben weiterführende Ergebnisse gezeigt, dass komplexe Zusammenhänge zwischen Rauigkeit und Oberflächenchemie für Anti-Eis-Eigenschaften verantwortlich sind. Die Ergebnisse zeigen jedoch deutlich die Einsparpotenziale durch den Einsatz eisphober Beschichtungen. Diese Erkenntnisse werden für die Entwicklung

der Beschichtung für die multifunktionale Sicherheitsverbundscheibe genutzt.

Die entwickelten Materialien und Applikationsprozesse werden in einem finalen Schritt in einem Demonstrator zusammengeführt und in Versuchen in einem Eislabor auf ihre Funktionen geprüft.

Fördervermerk

Die Autor:innen danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz für die Förderung des HEATS Projektes unter dem Förderkennzeichen 20Q1960B.

Kontakt // nadine.rehfeld@ifam.fraunhofer.de

NADINE REHFELD

Jahrgang 1975, arbeitet seit 2008 in der Abteilung Lacktechnik am Fraunhofer IFAM auf dem Gebiet multifunktionaler Beschichtungen mit dem Fokus auf der Entwicklung von Anti-Eis-Technologien sowie deren Untersuchungen in den IFAM-eigenen Testeinrichtungen.



DR. CLAUDIUS SCHREINER

Jahrgang 1976, ist seit 2014 Mitarbeiter der Abteilung Lacktechnik am Fraunhofer IFAM in Bremen. Er hat an der RWTH Aachen Chemie studiert und an der TU Chemnitz promoviert. Anschließend war er als Laborleiter für Baufarben und Holzlacke bei MIPA in Essenbach tätig.



MARIA MIHHAILOVA

ist seit 2019 Mitarbeiterin der Lackentwicklung bei KR D Coatings in Geesthacht tätig und beschäftigt sich mit der Oberflächencharakterisierung von transparenten Beschichtungen. Sie hat an der HS Anhalt Verfahrenstechnik studiert und mit dem Bachelor of Engineering abgeschlossen. Ihr beruflicher Werdegang führte sie über die Dünnschichtsolarmaterialienforschung und Pilotherstellung bei CIS Solartechnik zur Oberflächencharakterisierung bei Krüss.

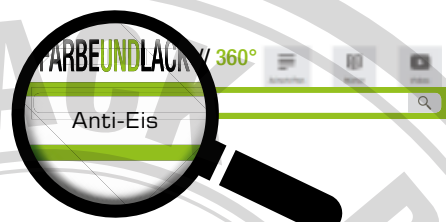


DR. SASCHA KULL

promovierte 2019 an der Universität Hamburg im Bereich der Chemie mit dem Schwerpunkt Nanotechnologie und arbeitet seitdem in der Lackentwicklung von KR D Coatings, welche er seit 2022 leitet. Dort beschäftigt er sich mit der Entwicklung von Beschichtungssystemen für transparente Kunststoffe, welche in der KR D Gruppe zu Sicherheitsglas in verschiedensten Anwendungen weiterverarbeitet werden.



Mehr zum Thema!



59 Ergebnisse für Anti-Eis!
Jetzt testen: www.farbeundlack.de/360

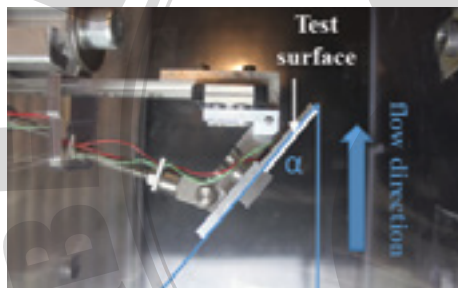


Abb. 7 // Fraunhofer IFAM-Eiswindkanal (links) mit Eis-Shedding-Test im Testfeld (Mitte) und beispielhafter vereister Testoberfläche (rechts) vor der Enteisung durch das integrierte Heizsystem.