

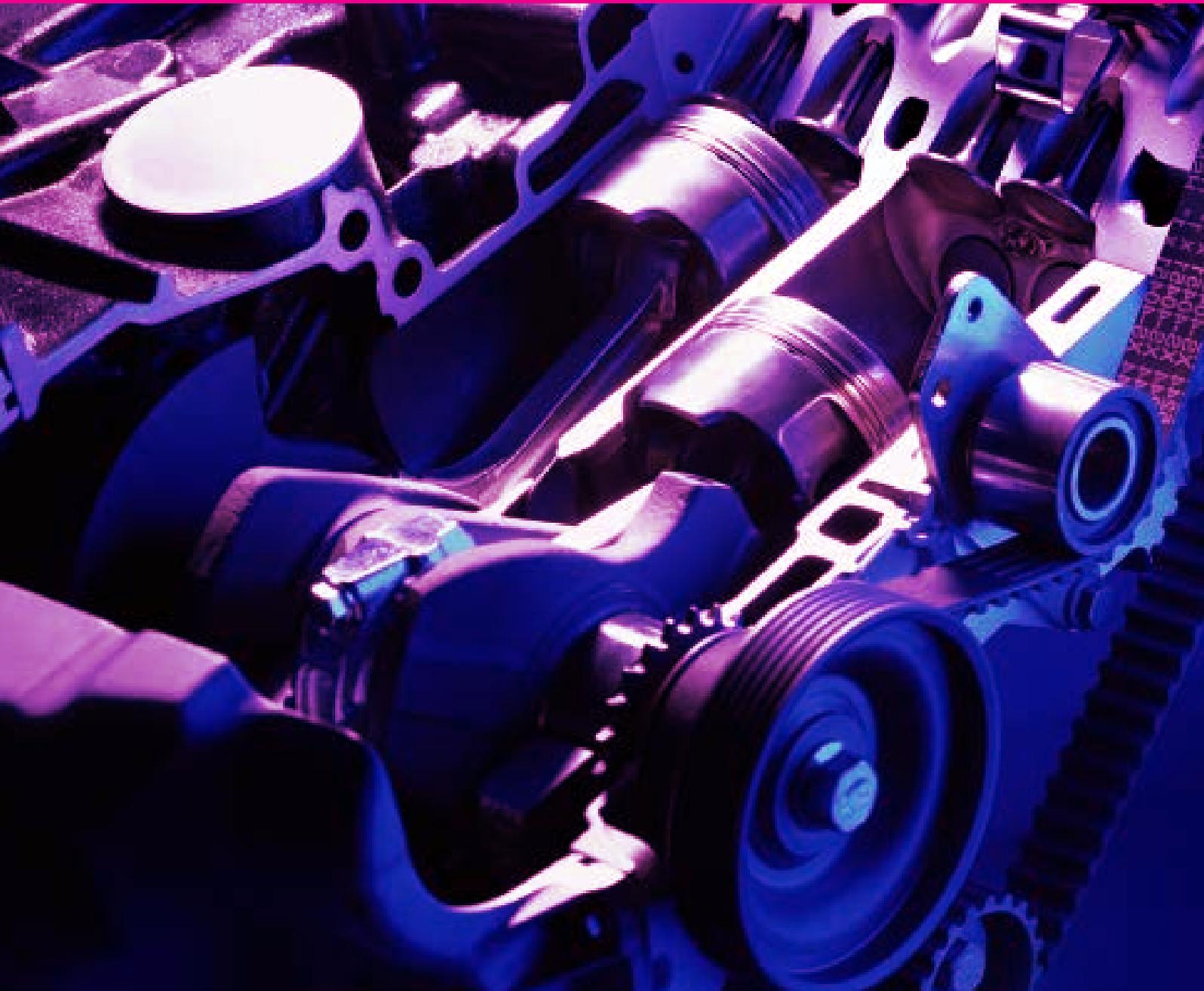


**Fraunhofer**

IST

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SCHICHT- UND OBERFLÄCHENTECHNIK IST

# FUNKTIONALE SCHICHTEN FÜR DIE AUTOMOBILINDUSTRIE





## Funktionale Schichten für das Automobil

### Funktionale Beschichtungen für die Fahrzeugtechnik am Fraunhofer IST

Dünne Schichten sind das Kerngeschäft des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST. In unseren Geschäftsfeldern Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik; Luft- und Raumfahrt; Energie und Elektronik; Optik sowie Life Sciences und Umwelt entwickeln wir als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum für unsere Partner anwendungsorientierte und marktrelevante Lösungen.

Für Ihre Aufgabenstellungen im Bereich Hightech-Automotive bündeln wir unsere Kompetenzen:

- ▮ Tribologie
- ▮ Mikro- und Sensortechnologie
- ▮ Elektrische und optische Funktionsschichten
- ▮ Großflächenbeschichtung
- ▮ Vakuum- und Atmosphärendruck-Plasmaverfahren
- ▮ Galvanik
- ▮ Simulation
- ▮ Analytik und Charakterisierung

### Wir reinigen Oberflächen – Vorbehandlung

- ▮ Effiziente Oberflächenvorbehandlung auf wässriger Basis inklusive Trocknung
- ▮ Spezielle Glasreinigung
- ▮ Plasmavorbehandlung und Plasmareinigung
- ▮ Plasmaaktivierung und Plasmafunktionalisierung
- ▮ Nasschemische Ätzvorbehandlung
- ▮ Partikelstrahlen

### Wir entwickeln Prozesse und Schichtsysteme – Modifikation und Beschichtung

- ▮ Oberflächenmodifikation
- ▮ Schichtentwicklung
- ▮ Prozesstechnik (einschließlich Prozessdiagnostik, -modellierung und -regelung)
- ▮ Simulation von optischen Schichtsystemen
- ▮ Entwicklung von Systemkomponenten und Verfahren
- ▮ Geräte- und Anlagenbau

### Wir sichern Qualität – Prüfung/Charakterisierung

- ▮ Chemische, mikromorphologische und strukturelle Charakterisierung
- ▮ Mechanische und tribologische Schichtcharakterisierung
- ▮ Optische und elektrische Charakterisierung
- ▮ Prüfverfahren und produktspezifische Qualitätskontrollen
- ▮ Schnelle und vertrauliche Schadensanalyse
- ▮ Prüfung der Korrosionsbeständigkeit

### Wir übertragen Forschungsergebnisse in die Praxis – Anwendung

- ▮ Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Entwicklung wirtschaftlicher Produktionsszenarien
- ▮ Prototypenentwicklung, Kleinserienfertigung, Beschichtung von Musterbauteilen
- ▮ Anlagenkonzepte und Fertigungsintegration
- ▮ Beratung und Schulungen
- ▮ Produktionsbegleitende Forschung und Entwicklung

- 1 Funktionelle Beschichtung auf Motorteilen.
- 2 Beschichtete Kurbelwelle.
- 3 Axialrillenlagerring mit Sensorstruktur in der Laufbahn.

## Anwendungen rund um das Automobil

### Scheiben

Eisfreie Scheiben, selbstheilende Schichten, hydrophobe/hydrophile und selbstreinigende Schichten, funktionelle Beschichtungen für Außenanwendungen, transparenter Kratz- und UV-Schutz

### Informationsdisplay

Beschichtungen für Head-up-Displays, Anti-Reflex- und Anti-Statik-Beschichtungen für die Clusterabdeckung, Antibeschlag-Schichten, Beschichtungen von Freiform-Optiken

### Antrieb

Schichten für Reibungsminderung und Verschleißschutz

### Motor

Nockenwelle, Kolben, Tassenstößel, Kurbelwelle, Zahnräder, Lager

### Scheinwerfer

Reflektoren, photokatalytisch aktive Beschichtungen, Anti-Beschlagschichten, kratzfeste Kunststoffstreuscheiben

### Scheibenwischer

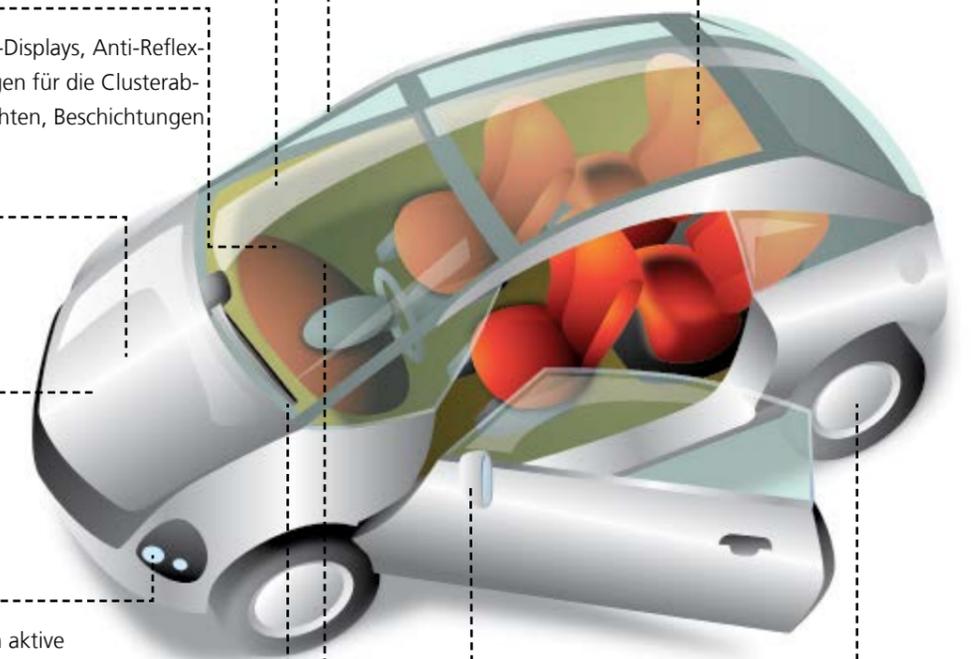
Dünnschicht-Regensensor zur Wischsteuerung

### Karosserie

Aktive Lärmkontrolle, Scheiben mit integrierter Beleuchtung

### Schaltbare Schichten

Sonnenschutz und Privatsphäre



### Schaltbare Spiegel

Elektrochromer selbstreinigender Spiegel

### Felgen

Korrosionsschutz, Dekoration

### Optische Sensoren

Selbstreinigende optische Sensoren, Materialien für bildgebende Systeme



4

## Amorphe Kohlenstoffschichten

### Diamantähnliche Kohlenstoffschichten (DLC)

Reibungsminderung und Verschleißschutz ist eines der zentralen Themen im Automobilbau. Hier bieten sich amorphe diamantähnliche Kohlenstoffbeschichtungen (DLC) an. Sie verlängern die Lebensdauer und Wartungsintervalle, erhöhen die Belastbarkeit von Motorteilen, reduzieren Reibungsverluste und den Einsatz von Schmierstoffen und ermöglichen darüber hinaus den Einsatz alternativer Werkstoffe. Allein durch die DLC-Beschichtung von Tassenstößeln lassen sich beispielsweise bis zu ein Prozent des Kraftstoffverbrauchs einsparen und damit der CO<sub>2</sub>-Ausstoß deutlich reduzieren. Diamantähnliche Kohlenstoffschichten werden mit verschiedenen chemischen oder physikalischen Verfahren der Dünnschichttechnik (CVD, PVD) bei Temperaturen von unter 200 °C abgeschieden und zeigen in einer Vielzahl technischer Anwendungen exzellentes Reibungs- und Verschleißverhalten. Abhängig von dem angewandten Verfahren und der chemischen Zusammensetzung können Eigenschaften wie Härte oder Oberflächenenergie speziell auf die Anforderungen der Anwendung eingestellt werden. DLC-Schichten lassen sich so den Belastungsprofilen fast aller tribologischen Systeme anpassen.

4 Beschichtete Motorteile.

5 Intelligente Lager: mit

DiaForce®-Sensorsystem.

6 Atmosphärendruck-

Plasma-Behandlung eines

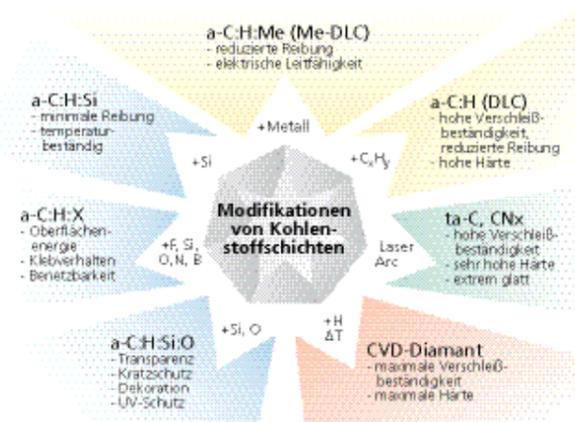
Kunststoffbauteils.

### Superharte a-C:H-Schichten (C-DLC)

Eine Weiterentwicklung der DLC-Schichten sind die superharten C-DLC (a-C:H)-Schichten. Sie bieten höhere Härten bei niedriger Oberflächenrauigkeit, verbesserte Haftung und ein erweitertes Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten. C-DLC-Schichten werden mittels Magnetronputtern in Großanlagen hergestellt. Durch den reduzierten Wasserstoffgehalt und einer größeren Anzahl an Kohlenstoff-Kohlenstoffbindungen werden Schichthärten von über 40 GPa erreicht. Die beachtliche Verbesserung der Haftung ist auf das spezielle Design der Zwischenschicht zurückzuführen.

### Vorteile von DLC und superharten C-DLC-Schichten

- Energieeffizienz durch Reibungsminderung
- Verlängerung von Wartungsintervallen durch Verschleißschutz
- Kosteneffizienz durch Vermeidung von Schmierstoffen
- Geringe Oberflächenenergie
- Verlängerung der Lebenszeit
- Dekoration/dekorative Effekte



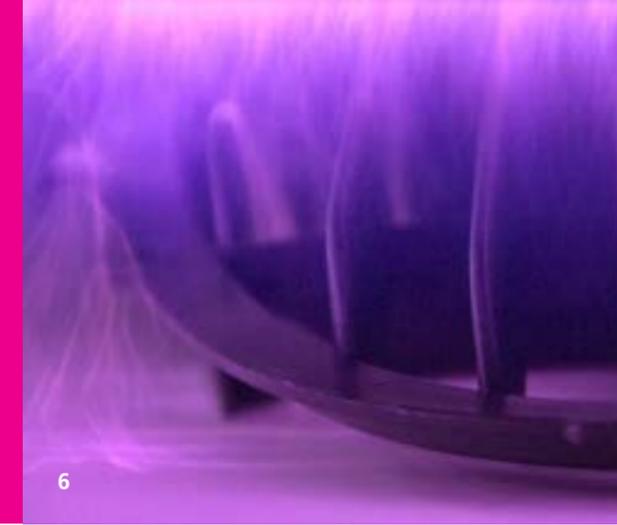
5

## Intelligente Oberflächen

Neben tribologischen Eigenschaften können diamantähnliche Kohlenstoffschichten auch sensorische Eigenschaften aufweisen. Moderne Plasmabeschichtungstechniken ermöglichen die Herstellung multifunktionaler Oberflächen, die tribologisch optimal eingestellt sind und gleichzeitig über sensorische Fähigkeiten verfügen. Die am Fraunhofer IST entwickelte DiaForce®-Schicht bietet diese Funktionskombination. Sie besteht aus amorphem Kohlenstoff mit gezielt eingebrachten Nanostrukturen und weist ein diamantähnliches tribologisches Verhalten auf. Dies wird durch die Silbe »Dia« gekennzeichnet. »Force« signalisiert ihren vorrangigen Einsatz zur Kraftmessung in stark belasteten Bereichen. Das sensorische Schichtsystem hat eine Dicke von 6–9 µm und weist sowohl piezo- als auch thermoresistives Verhalten auf. Die Strukturierung der Schichten, die im PACVD-Prozess abgeschieden werden, erfolgt mittels Fotolithografie und direkt schreibender Laserverfahren. Die DiaForce®-Sensorsysteme erkennen Belastung, Druck, Temperatur und Verschleiß auf glatten und gekrümmten Oberflächen.

### Vorteile des DiaForce®-SensorSystems

- Erhöhte Sicherheit von Produkten, z. B. durch die intelligente Unterlegscheibe zur Reifenbefestigung
- Gesteigerte Prozessgenauigkeit
- Direkte Kontrolle von mechanisch stark beanspruchten Oberflächen im Produktionsprozess, z. B. Dünnschichtsensoren
- Optimierung von Umformprozessen mittels Dünnschichtsensoren
- Innovative Produkte durch integrierte Dünnschichtsensoren



6

## Modifizierte Oberflächen

Modifizierte Oberflächen mit optimalen Haftungseigenschaften für nachfolgende Verarbeitungsprozesse wie Kleben, Lackieren oder Bedrucken lassen sich gezielt und kostengünstig mit Atmosphärendruck-Plasmaverfahren erzeugen. Neben Glas, Silizium und Metall können insbesondere auch Kunststoffe aktiviert werden, da die Behandlung bei Atmosphärendruck die Substrate sowohl thermisch als auch mechanisch nur wenig belastet. Durch die Erzeugung polarer Gruppen können die Oberflächenenergie und Benetzbarkeit der Substrate erhöht und zum Beispiel die Haftung von organischen Beschichtungen wie Farben, Lacke oder Kleber erheblich verbessert werden. Darüber hinaus eignet sich die Behandlung zur gezielten Funktionalisierung von Oberflächen durch die Verwendung von definierten Prozessgasen, Gasgemischen oder durch Beimischung von Prekursoren für Schichtabscheidungen. Durch Optimierung der Plasmaparameter lassen sich verschiedene chemisch funktionelle Gruppen wie Amino-, Hydroxy-, Carboxy- oder Epoxygruppen in hoher Dichte aufbringen. Diese reaktiven Gruppen können sogar chemische Bindungen ausbilden, mit deren Hilfe auch schwer klebbare Kunststoffe auf Materialien mit niedrigen Oberflächenenergien wie Polypropylen oder Acrylnitril-Butadien-Styrol ABS/PC sicher verankert werden können.

### Vorteile modifizierter Oberflächen

- Erhöhung der Produktqualität durch verbesserte Lackhaftung bzw. beständigere Verklebungen
- Definierte Einstellung der Oberflächenenergie und hohe Dichte funktioneller Gruppen
- Innen- und Außenbeschichtung von Bauteilen, z. B. Schläuche
- Höhere Flexibilität bei der Materialauswahl für die Produktgestaltung
- Umweltfreundlicher und kostengünstiger Prozess



7

### Transparent leitfähige Schichten

Transparent leitfähige Schichten (TCOs) vereinen halbleitende und transparente Eigenschaften. Am Fraunhofer IST wird ein breites Spektrum hochwertiger TCO-Schichtsysteme und Prozesse für die wirtschaftliche Großflächenbeschichtung entwickelt. Produkte wie eisfreie Scheiben, transparente Displays, optoelektronische Bauelemente und Low-E-Anwendungen erfordern großflächige Schichtsysteme mit optischer Transparenz und metallischer Leitfähigkeit. Transparente und leitfähige Oxide auf der Basis oxidischer Halbleiter mit großer Bandlücke wie ZnO, SnO<sub>2</sub> und In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bieten hier eine Lösung. Sie erlauben die Realisierung spektral selektiver Eigenschaften oder großflächiger transparenter Elektroden.

#### Vorteile von TCOs

- Maßgeschneiderte Schichteigenschaften (Dicke, Ladungsträgerdichte, Transparenz, Farbeindruck)
- Sanfte Wachstumsmethoden für sensible Substrate (z. B. organische Elektronik, OLEDs und Bahnbeschichtung)
- Hochwertige Produkte durch hochmoderne Impulsputterprozesse und modellgestützte Prozessentwicklung mit hoher lateraler Homogenität
- Kosteneinsparung durch Prozesse mit hoher Durchsatzleistung und günstigen Materialien (z. B. Substitution von ITO durch ZnO:Al)
- Kosteneffizienz und Prozesszuverlässigkeit durch Simulation der Beschichtungen und Abscheidungsprozesse

7 Glasröhre mit transparenter ITO-Heizleiter-Beschichtung. Anwendung: Heizung von Destillationskolonnen der BASF-Gruppe.

### Interferenzoptik

Antireflexschichten (AR) reduzieren die Reflexion von Glas- und Polymeroberflächen. Durch Mehrschichtdesigns werden breitbandige Antireflexionseigenschaften erreicht, die höchste Anforderungen an Prozesssteuerung und homogene Beschichtung erfüllen. Darüber hinaus werden am Fraunhofer IST spezielle Interferenzschichten z. B. für den Einsatz in Head-up Displays entwickelt, die Laserlicht bei speziellen Wellenlängen perfekt reflektieren. Alternative Präzisionsbeschichtungsverfahren und neue Materialien eröffnen neue Möglichkeiten für die Beschichtung von hochelastischen Freiform-Optiken aus Polymermaterialien.

#### Vorteile von Antireflexschichten

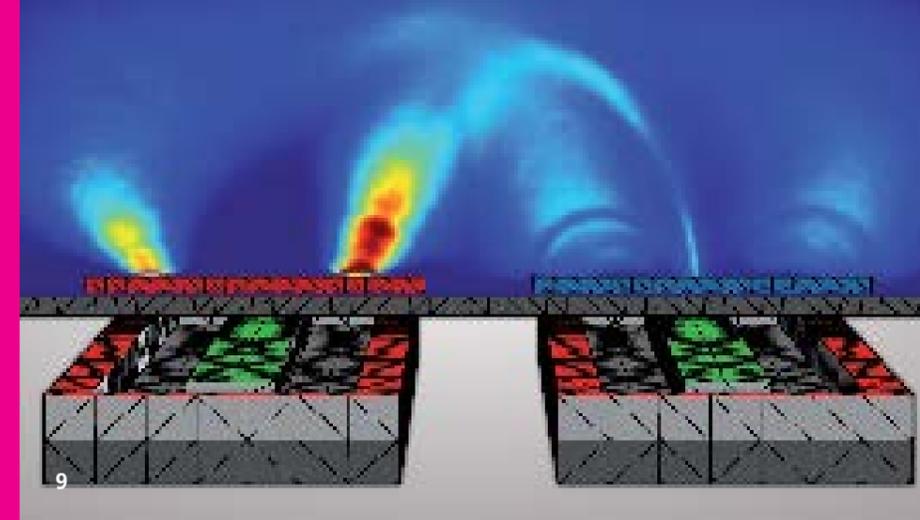
- Sichere, blendungsfreie Sicht, z. B. durch entspiegelte Frontscheiben, Polymeroptiken in optischen Instrumenten
- Designfreiheit bei der Farbwahl von Interieurmaterialien, z. B. Verhinderung von Reflexionen auf Weiß
- Zusatznutzen durch Antistatikeigenschaften (ARAS) und transparentem Kratzschutz auf Kunststoff

#### Unsere Vision

Die eisfreie Scheibe für das Auto der Zukunft bietet effektiven schaltbaren Sonnenschutz, reinigt sich selbst und bleibt in kalten Winternächten eisfrei. Mit einem neuartigen, am Fraunhofer IST entwickelten Beschichtungsprozess ist es gelungen, eine besonders harte und kratzfeste Indium-Zinnoxid-Schicht herzustellen. Die transparente Schicht ist so leitfähig wie ein Metall – dadurch wird das Glas zu einem Wärmespiegel, was das Auskühlen und Vereisen der Scheiben verhindert. Auf diese Weise wird das langwierige und das gerade bei Elektroautos energiezehrende Freiheizen der Scheiben überflüssig.



8



9

### Photokatalytische Schichten

Photokatalytische Beschichtungen ermöglichen unter UV-Beleuchtung die Zersetzung von fast jedem organischen Material, das die beschichtete Oberfläche berührt. Außerdem wird die vollständige Benetzung mit Wasser (Superhydrophilie) ermöglicht. In Übereinstimmung mit der Fraunhofer-Allianz Photokatalyse konzentriert sich die FuE-Arbeit des Fraunhofer IST auf die Entwicklung und Charakterisierung hochaktiver photokatalytischer Beschichtung von Glas und Kunststoffen.

#### Vorteile der photokatalytischen Aktivbeschichtungen

- Antibakterielle Oberflächen (z. B. Lenkrad, Schaltknüppel oder Hebel)
- Verbesserte Luftqualität durch photokatalytische Luftreinigung
- Kostenreduktion für Oberflächenreinigungen durch die Easy-to-Clean Eigenschaften der superhydrophilen Oberflächen (Autoglas, Rückspiegel, etc) und der photokatalytischen Zersetzung der organischen Materialien
- Erhöhte Fahrsicherheit durch Antibeschlagschichten (z. B. verbesserte Funktion der Sensoren)

### Simulation

Die Automobiltechnik stellt erhöhte Anforderungen an Beschichtungen, da komplex geformte Bauteile beschichtet werden müssen und die Schichten im Fahrzeugbetrieb einer hohen chemischen oder mechanischen Belastung unterliegen. Am Fraunhofer IST entwickelte Simulationstools ermöglichen eine wirtschaftliche Entwicklung von Beschichtungsverfahren, die hinsichtlich Präzision und Produktivität optimiert sind. Die beschichteten Bauteile werden mit zahlreichen Analyseverfahren untersucht. Neben den Messmethoden kommen dabei angepasste Simulationsverfahren zum Einsatz, um aus den Bauteileigenschaften quantitative Aussagen abzuleiten. Die folgenden Simulationsverfahren werden am Fraunhofer IST für die Automobiltechnik eingesetzt:

- Particle-in-Cell Monte-Carlo-Simulation für die Plasma-Beschichtungsprozesse
- Simulationsgestützte Auswertung spektroskopischer und ellipsometrischer Messungen
- Simulation mechanischer Beschichtungseigenschaften zum Abgleich mit mechanischen Belastungstests
- Modellgestützte Auswertung des Lichtstreuverhaltens in Abhängigkeit von der Oberflächenmorphologie

8 Gefärbte Wassertropfen in einer ultrahydrophob beschichteten Glasschale.

9 PIC-MC-Simulation eines Dual-Magnetron-Sputtermoduls in einem 2-D-Querschnitt bei bipolarer Mittelfrequenzanregung.



---

### **So erreichen Sie uns**

---

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST  
Bienroder Weg 54 E  
38108 Braunschweig

Telefon +49 531 2155-0  
info@ist.fraunhofer.de  
www.ist.fraunhofer.de

### **Ansprechpartner**

Dr.-Ing. Jochen Brand  
Abteilungsleiter Zentrum für Tribologische Schichten  
Telefon +49 531 2155-600  
jochen.brand@ist.fraunhofer.de