

# RUBIN

SONDERAUSGABE

## WISSENSCHAFTSMAGAZIN

50 JAHRE FAKULTÄT FÜR ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTECHNIK

PDF-Datei  
nur zur privaten  
Verwendung

### IT-SICHERHEIT

Smartphones, Browser,  
Ladesäulen schützen

### PLASMAFORSCHUNG

Kunststoffe dichter machen  
und Keime töten



# KUNSTSTOFFE DICHTER MACHEN

*Organische Leuchtdioden, künstliche Nieren und PET-Flaschen haben eins gemeinsam: Alle bestehen aus Kunststoffen. Doch die sind durchlässig für verschiedene Gase. Um das Plastik dichter zu machen, tragen RUB-Ingenieure mithilfe von Plasmen hauchdünne Schichten auf die Oberflächen auf.*

**P**ET-Flaschen haben an vielen Stellen Glasflaschen verdrängt, das Kühlregal ist voll mit Plastikverpackungen, nun wird auch diskutiert, Babynahrung in Kunststoffgefäßen statt in Gläsern anzubieten – sie sind schließlich leichter und bruchsicher. Doch noch ist die Sorge zu groß, dass schädliche Stoffe aus der Packung in die Nahrung gelangen könnten. Neue Beschichtungsverfahren mittels Plasmen (Info S.15) könnten Abhilfe schaffen und außerdem dafür sorgen, dass Lebensmittel länger haltbar bleiben. Am Lehrstuhl Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik entwickelt Prof. Dr.-Ing. Peter Awakowicz mit seinem Team Verfahren, um Oberflächen mit Schutzschichten zu überziehen, die den Kunststoff dichter machen. Diese Arbeit ist Teil des Sonderforschungsbereichs „Gepulste Hochleistungsplasmen zur Synthese nanostrukturierter Funktionsschichten“.

Kunststoff hat eine sehr schlechte Gasbarriere, ist also durchlässig für Luft, die in beide Richtungen durch das Material treten kann. „Deswegen verliert Wasser in PET-Flaschen seine Kohlensäure, und Lebensmittel kippen um, verändern also zum Beispiel ihren Geschmack“, sagt Peter Awakowicz (Abb. 1). Mit der Beschichtung, an der seine Gruppe arbeitet, wären Plastikverpackungen hundertmal dichter, als sie es heute sind. Lebensmittel wären dementsprechend länger haltbar und besser geschützt vor Substanzen, die aus dem Kunststoff austreten. „Manchmal hört man Leute sagen ‚Das schmeckt nach Plastik‘ und das ist auch so“, erzählt Awakowicz. „Es gibt keinen Kunststoff, aus dem nicht irgendwelche Inhaltsstoffe entweichen. Mit unserer Beschichtung können wir die Menge dieser Substanzen auf ein Prozent der Menge reduzieren, die normalerweise austritt.“

# „ AUS JEDEM KUNSTSTOFF TRETEN INHALTSSTOFFE AUS. “

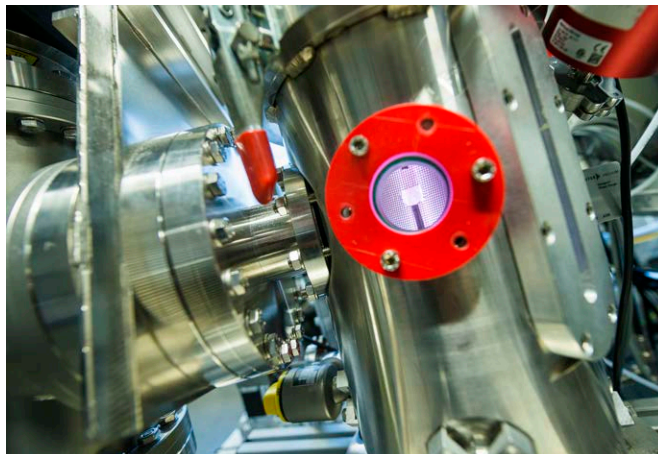
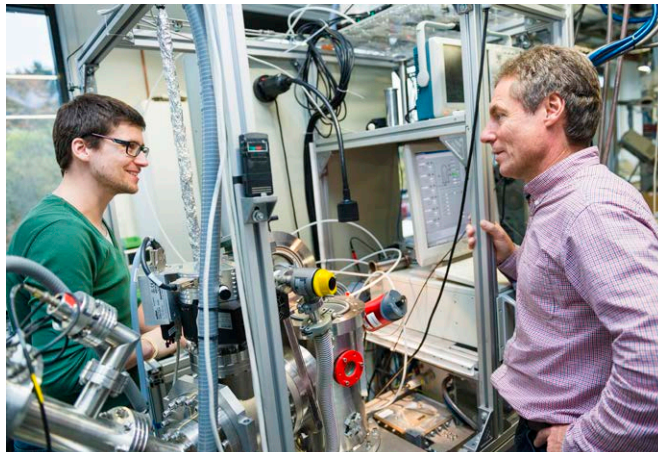


Abb. 1: Prof. Dr.-Ing. Peter Awakowicz (oben rechts) und Felix Mitschker bearbeiten PET-Flaschen mithilfe eines Argon-Plasmas (unten). Dieses „reinigt“ und aktiviert die Flaschenoberfläche von innen.

Das RUB-Team erforscht, wie man ein Objekt mit einer beliebigen Form aus einem bestimmten Kunststoff am besten mithilfe eines Plasmas beschichtet (Abb. 1). Dafür nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die *plasma enhanced chemical vapour deposition*, kurz PECVD. In diesem Verfahren wird die Substanz Hexamethyldisiloxan verdampft, mit Sauerstoff vermischt und im Plasma zerlegt. Dadurch scheidet sich Siliziumdioxid auf dem Kunststoff ab. Das Plasma liefert die für den Prozess notwendige Energie (siehe „Sonde misst die Plasmadichte“, S. 12). Gerade einmal 50 Nanometer misst die Barrierschicht, die die RUB-Gruppe auf diese Weise auf den Kunststoff aufträgt. Dickere Schichten würden reißen und außerdem den Recyclingprozess stören, weil die Siliziumdioxid-Schicht nichts anderes ist als hauchdünnes Glas. Die verschwindend geringen Mengen, die die RUB-Forscher mit ihren Schichten auftragen, fallen beim Recycling nicht ins Gewicht. Sie bringen sie aber nicht direkt auf den Kunststoff auf, sondern beginnen zunächst mit einem Schutzfilm. Denn ihre Versuche haben ergeben, dass der sauerstoffhaltige Plasmaprozess zur Abscheidung von Siliziumdioxid die Kunststoffoberfläche angreift. Es entsteht eine sogenannte *weak boundary layer* (Abb. 2). „Auf diese zerstörte Schicht kann man eine noch so tolle Barrierschicht auftragen, sie wird niemals halten“, weiß Peter Awakowicz.

Um dieses Problem messbar zu machen, dachte sich die RUB-Gruppe gemeinsam mit Kollegen aus Paderborn einen Trick aus. Anstatt die Barrierschicht auf eine herkömmliche Kunststoffoberfläche aufzutragen, nutzten sie für den Versuch eine selbstorganisierende Monoschicht, kurz SAM genannt für *self-assembled monolayer*. „Das sind Moleküle, die sich auf einer aktivierten Oberfläche aufstellen wie Zinnsoldaten“,

erklärt Awakowicz. Dadurch entsteht eine extrem gleichmäßige Schicht (Abb. 3). Normale Kunststoffoberflächen sind im Vergleich dazu längst nicht so aufgeräumt; daher lässt sich nicht quantifizieren, wie viel zusätzliche Zerstörung der PECVD-Prozess in ihnen anrichtet. In der SAM-Schicht hingegen fällt jedes Bisschen Unordnung sofort auf (Abb. 2). Je mehr Durcheinander die PECVD in ihr erzeugt, desto mehr greift der Prozess die Oberfläche an. Auf diesem Weg zeigte das Team aus Bochum und Paderborn, dass der Beschichtungsprozess Oberflächen oxidiert und dadurch die obersten Atomlagen zerstört.

Um das zu verhindern, tragen die RUB-Ingenieure zunächst eine sauerstofffreie Schutzschicht auf den Kunststoff auf (Abb. 3). Auf diese scheiden sie dann die sauerstoffhaltige Barrierschicht ab. „Früher haben wir geglaubt, dass wir mit der Schutzschicht einen Klebstoff auf den Kunststoff auftragen, einen Haftvermittler. Die ganze Welt hat das geglaubt“, erzählt Peter Awakowicz. „Aber das stimmt nicht!“ Die Versuche ergaben nämlich auch, dass die aufwachsende Barrierschicht die darunterliegende Schutzschicht umwandelt. Durch Oxidation erhält diese ähnliche Eigenschaften wie die Barrierschicht, macht den Kunststoff also zusätzlich dichter.

Trotz dieser Erkenntnisse kann man verschiedene Gegenstände nicht einfach auf die gleiche Art mit Plasmen beschichten. Viele Parameter beeinflussen das Resultat, zum Beispiel die Plasmadichte, der Sauerstoffgehalt oder die Intensität des Ionenbeschusses. Die Plasmaparameter wirken sich darauf aus, wie dicht, hart und dehnbar die Barrierschicht am Ende ist. Unterschiedliche Kunststoffe wie PET, Polypropylen oder Polycarbonat erfordern unterschiedliche Plasmaeigenschaften. Auch die Form des Gegenstandes spielt eine Rolle. Um die



Abb. 2: Der sauerstoffhaltige Plasmaprozess zur Abscheidung der Barrierschicht aus Siliziumdioxid (grün) greift die Kunststoffoberfläche an. Das zeigte das RUB-Team anhand einer selbstorganisierenden Monoschicht (SAM), die durch die Abscheidung ihre Ordnung verliert.

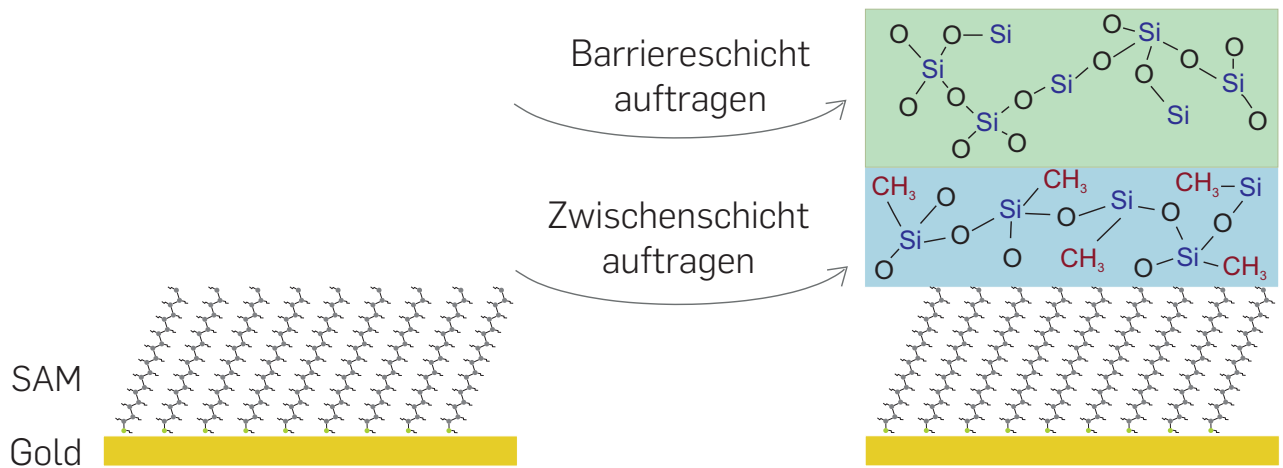


Abb. 3: Bringt das RUB-Team vor dem Auftragen der Barrierschicht (grün) eine Zwischenschicht (blau) auf die Kunststoffoberfläche auf, bleibt diese intakt. Im Versuch nutzte die Gruppe stellvertretend für die Kunststoffoberfläche eine selbstorganisierende Monoschicht (SAM).

richtigen Einstellungen für ein neues Objekt zu finden, startet das RUB-Team mit Werten, die für andere Gegenstände bereits funktioniert haben. Dann analysieren sie die resultierende Schicht.

Löcher mit Durchmessern im Nano- bis Mikrometerbereich, die die Barriere durchlässig machen, treten immer auf. Ihre Menge und Größe ist ein Indiz für die Güte des Prozesses. Der Lehrstuhl Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik hat ein automatisiertes Verfahren entwickelt, um die Löcher zu detektieren, zu zählen und auszumessen. Das Problem: Noch nicht einmal unter dem Elektronenmikroskop sind die Defekte in der Barrierschicht auszumachen. Erst durch eine spezielle Behandlung werden sie sichtbar. Die Forscherinnen und Forscher verwenden zu diesem Zweck die löchrige Barrierschicht als Maske. Durch die Löcher hindurch ätzen sie mit Sauerstoffradikalen in die darunterliegende Schicht. In dieser entstehen dadurch viel größere Löcher mit einer scharfen Kante (Abb. 4), die aufgrund ihrer Form und Ausdehnung mit dem Elektronenmikroskop zu sehen sind. Ein selbst geschriebenes Computerprogramm detektiert die Defekte per Mustererkennung und wertet sie aus.

Das ist aber nur eine Station eines ganzen Test-Parcours, den beschichtete Proben im Bochumer Labor durchlaufen. Auch Dehntoleranz und die Barriere für verschiedene Gase werden

überprüft. Das Ziel ist, besser zu verstehen, wie die Plasmeeigenschaften das Ergebnis des Beschichtungsprozesses beeinflussen. In Zukunft soll das ermöglichen, die optimalen Parameter für ein zu beschichtendes Objekt möglichst schnell zu finden. Je nach Gegenstand kann das zurzeit zwischen zwei Tagen und einem Jahr in Anspruch nehmen. „Es gibt unendlich viele Kombinationsmöglichkeiten für die Plasmamparameter. Aber je mehr Erfahrung wir gewinnen, umso schneller geht es natürlich“, sagt Peter Awakowicz.

Für PET-Flaschen hat sein Team den Prozess gemeinsam mit Industriepartnern schon sehr weit optimiert, in einem Projekt, das das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie fördert. Auch eine Beschichtungsanlage besitzt das Forschungskonsortium bereits. Bislang gibt es nur einen einzigen kommerziellen Hersteller für solche Geräte weltweit; die Technik hat sich auf dem Markt noch nicht durchgesetzt. Nur vereinzelte Produkte kommen zurzeit in beschichteten Verpackungen daher, PET-Flaschen sind nach wie vor ohne Barrierschicht gefertigt. In ein bis zwei Jahren, schätzt Peter Awakowicz, könnte sich das ändern – wenn das Verfahren, das aus seinem Hause kommt, industrietauglich sein wird.

Beschichtungen für Kunststoffe sind aber nicht das Einzige, für das sich die Ingenieurinnen und Ingenieure interessieren. Im Rahmen des SFB/TR 87 „Gepulste Hochleistungsplasmen

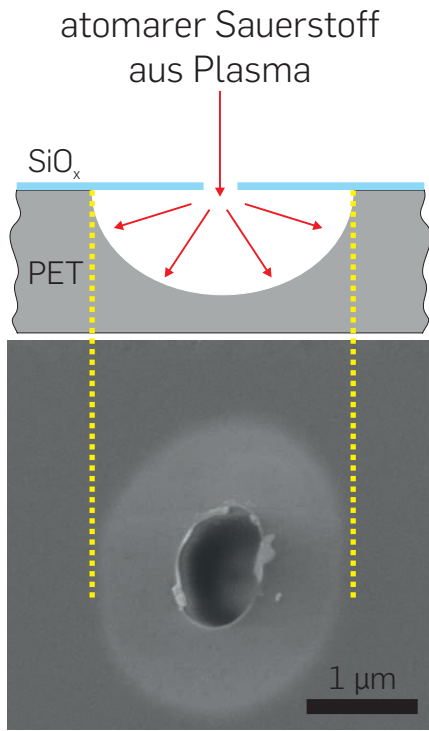
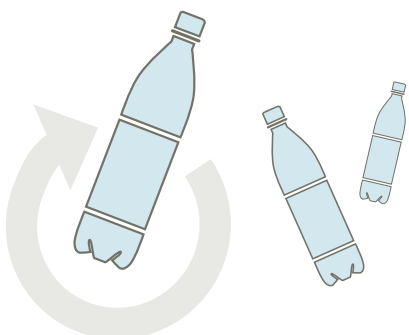


Abb. 4: Jede Barrierschicht (blau) enthält kleine Defekte, die jedoch nicht sichtbar sind – ein Problem für die Qualitätsanalyse. Der Trick der Forscher: Sie nutzen die Barrierschicht als Maske und ätzen durch die Defekte in die darunterliegende Kunststoffschicht (PET). Das ergibt größere Löcher, die unter dem Elektronenmikroskop zu sehen sind.

zur Synthese nanostrukturierter Funktionsschichten“ arbeiten sie auch an Methoden für die plasmaunterstützte Beschichtung von Metalloberflächen. Keramikschichten können metallische Bauteile wie Bohrer widerstandsfähiger und somit haltbarer machen (S. 20 und 21). Metallwerkzeuge für die Produktion von Kunststoffteilen werden so beschichtet. Das gewährleistet zum Beispiel, dass der flüssige Kunststoff nicht zu viel und nicht zu wenig an dem Werkzeug haftet. Durch eine optimale Beschichtung des Werkzeugs hat das entstehende Kunststoffbauteil am Ende außerdem eine bessere Qualität.

*Text: jwe, Fotos: dg, Grafiken: Felix Mitschker*



# REDAKTIONSSCHLUSS

## 99,9 % DES UNIVERSUMS BESTEHEN AUS PLASMA.

Die Erde ist hingegen beinahe plasmafrei – bis auf Blitze, Feuer und Polarlichter. Da Plasmen aber den energiereichsten Zustand der Materie darstellen, sorgt der Mensch dafür, dass sie ein klein wenig häufiger auf der Erde werden. In Forschung und Industrie werden Plasmen technisch hergestellt und für eine Vielzahl von Anwendungen genutzt. Wofür? Ein paar Beispiele finden sich in diesem Heft auf den Seiten 12 bis 27.

Bild: NASA, ESA, and M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team (STScI)

### IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum

REDAKTIONSANSCHRIFT: Dezernat Hochschulkommunikation, Abteilung Wissenschaftskommunikation, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25528, Fax: 0234/32-14136, rubin@rub.de, rubin.rub.de

REDAKTION: Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md); Raffaella Römer (rr)

Die Redaktion hat sich um die Einholung der nötigen Bildrechte mit allen Mitteln bemüht; wo das nicht möglich war, bitten wir eventuelle Rechteinhaber, sich mit der Redaktion in Verbindung zu setzen.

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Hofsteder Str. 45a, 44791 Bochum, Tel.: 0176/29706008, www.damiangorczany.de; Roberto Schirdewahn (rs), RUB Agentur

COVERFOTO: Damian Gorczany

WEBAUFTTRITT: Andreas Rohden, Abteilung Markenbildung, RUB

GRAFIK, LAYOUT UND SATZ: VISUELL MARKETING GMBH, Springorumallee 2, 44795 Bochum, Tel.: 0234/459803, www.visuell-marketing.com

DRUCK: VMK Druckerei GmbH, Faberstrasse 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-110, www.vmk-druckerei.de

AUFLAGE: 4.000

ANZEIGENVERWALTUNG UND -HERSTELLUNG: VMK GmbH & Co. KG, Faberstraße 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-0, www.vmk-verlag.de

BEZUG: Die Sonderausgabe 2015 des Wissenschaftsmagazins RUBIN ist erhältlich in der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Ruhr-Universität, Gebäude ID, Etage 1, Raum 643. Das Wissenschaftsmagazin RUBIN erscheint zweimal im Jahr. ISSN 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren