



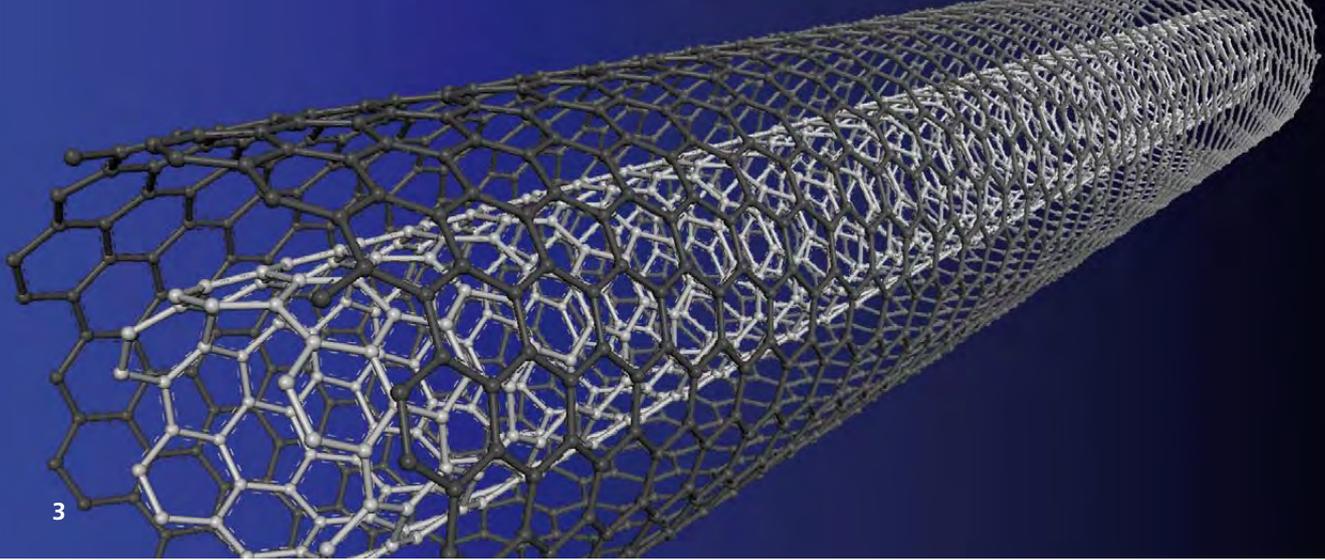
## PLASMABEHANDLUNG VON MIKRO- UND NANOPARTIKELN UNTER ATMOSPHÄRENDRUCK ERMÖGLICHT NEUE WERKSTOFFE UND ANWENDUNGEN

Der Name ist Programm: Die Abteilung Plasmatechnik und Oberflächen (PLATO) des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ist seit vielen Jahren sehr erfolgreich, wenn es um die Modifizierung von Oberflächen durch Plasmabehandlung geht. Auch Laien können leicht nachvollziehen, dass die effiziente Vorbehandlung von Oberflächen eine wichtige Voraussetzung für die weitere Verwendung und Optimierung von Werkstoffen ist. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Plasmapolymerisation, die es ermöglicht, Oberflächen mit isolierenden, haftvermittelnden oder vor Korrosion schützenden Schichten zu versehen. Weniger bekannt ist, dass PLATO diese Prozesse nicht nur für große Oberflächen, sondern auch für mikroskopisch kleine Maßstäbe entwickelt hat: Die Vorbehandlung von Partikeln und deren Veredelung mit gut haftenden, dichten, aber auch sehr dünnen Schichten im Bereich einiger Nanometer wird seit Jahren gezielt vorangetrieben. Sie spielt mittlerweile eine immer wichtigere Rolle beim Einsatz neuartiger Werkstoffe und auf dem Gebiet der Elektromobilität.

Neben der Partikelbeschichtung geht es dabei auch um die Reinigung oder Vorbehandlung von Partikeln. Durch das Plasma – ein reaktives Gas, in dem Elektronen, Ionen und reaktive Molekülfragmente nebeneinander vorliegen – ist z. B. die Reinigung von Oberflächen möglich: Organische Kontaminationen sind auf diese Weise entfernbar. Ebenso lassen sich Oberflächen durch ein Plasma funktionalisieren: Beispielsweise können zunächst wasserabweisende Oberflächen dadurch wasseranziehend werden oder Partikel, die sich ursprünglich sehr schwer mit Wasser mischen, wesentlich besser verarbeitet werden. Letzteres geschieht, indem man durch die Plasmabehandlung die Agglomeration – das »Zusammenballen« – von Partikeln reduziert, sie also durch

die Vorbehandlung stärker vereinzelt und voneinander trennt.

Bei der erwähnten Plasmapolymerisation werden flüssige oder gasförmige Ausgangsprodukte in Beschichtungen umgewandelt, die weniger als tausendstel Millimeter dick sind. Diese Schichten weisen eine hervorragende Adhäsion auch auf kleinsten Partikeln auf und verleihen ihnen z. B. eine gute elektrische Isolation, Wärmeleitfähigkeit, eine Alterungsschutzwirkung oder viele andere Zusatzfunktionen. Vor allem die Behandlung von Partikeln unter Atmosphärendruck entwickelt PLATO bereits seit vielen Jahren weiter.



3

### Erste Erfahrungen mit der Funktionalisierung von Ruß

Erste Erfahrungen bei der Veränderung von Partikeloberflächen wurden mit der Vorbehandlung von Rußen gemacht. Sie können gezielt in Öfen hergestellt werden und sind ein industrielles Massengut. Die Experten des Fraunhofer IFAM arbeiteten schon früh mit Rußen, die als Füllstoff von Farben, aber auch zur Verbesserung der mechanischen oder elektrischen Eigenschaften von Werkstoffen genutzt wurden. So lassen sich z. B. leitfähige Lacke oder Klebstoffe herstellen, indem man durch die Einbringung von Ruß den Widerstand des Polymers ändert – eine Entwicklung, die für den Blitzschutz oder Anti-Statik-Beschichtungen von Flugzeugen einsetzbar ist (Abb. 5). So werden Seitenleitwerke von Flugzeugen mit Anti-Statik-Lack lackiert, damit elektrische Aufladungen besser abfließen.

Das Additiv Ruß kann jedoch bei zu hohen Füllgraden und unzureichender Dispergierung auch Nachteile haben, weil es die Lackstabilität negativ beeinflussen kann. PLATO entwickelte daher eine effiziente Vorbehandlung von Rußpartikeln, die eine wesentlich bessere Verarbeitung und Verteilung im Lack zur Folge hatte. Dadurch wurden ein »stabileres« Produkt und schnellere Produktionszeiten möglich (Abb. 1 und 2). Ebenso ließen sich leitfähige, stabile Klebstoffe durch die Zugabe vorbehandelter Rußpartikel realisieren.

### Partikelbehandlung – lohnend für Kohlenstoffnanoröhrchen

Obwohl Industrieruß ein Hochtechnologiewerkstoff ist, gibt es nur wenige Nischen, in denen sich eine Veredelung dieses Produkts durch die im Fraunhofer IFAM erarbeitete Plasma-behandlung wirtschaftlich lohnt. Grund ist nicht zuletzt der günstige Preis von Ruß, der hohe Veredelungskosten nur in Ausnahmefällen rechtfertigt. Umgekehrt bietet sich die

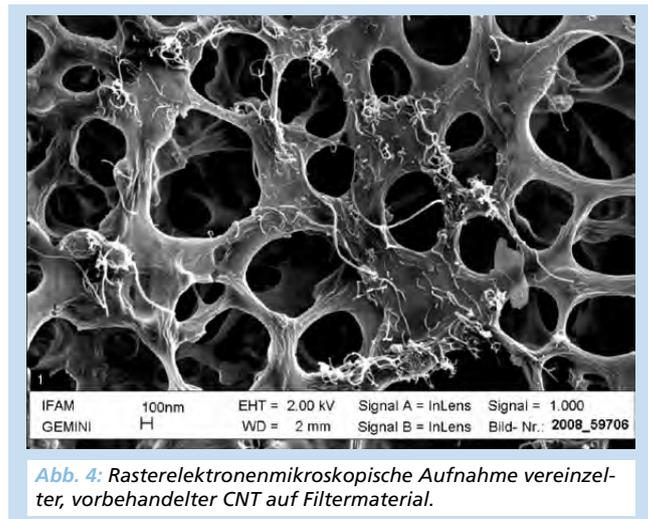


Abb. 4: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einzelner, vorbehandelter CNT auf Filtermaterial.

Partikelbehandlung von PLATO für hochwertige Neuentwicklungen geradezu an – wie etwa für die noch jungen Kohlenstoffnanoröhren, auch CNT (abgeleitet vom englischen Begriff Carbon Nanotubes) genannt. Hierbei handelt es sich um mikroskopisch kleine röhrenförmige Gebilde aus Kohlenstoff (Abb. 3 und 4). Mit den Nanoröhren lassen sich beispielsweise hochleitfähige, hochfeste Polymere und Klebstoffe herstellen. Denn einerseits ist der elektrische Widerstand der CNT-Röhren sehr gering, sodass sich Strom ideal entlang der Röhrrchen leiten lässt. Andererseits sind durch die Beimischung von CNT aber auch extrem hochfeste Polymere herstellbar – vergleichbar mit Bambusröhren, mit denen sich ebenso äußerst feste Strukturen erzielen lassen. Ein bereits erprobtes Anwendungsgebiet für CNT sind Spezialpolymere für die Raumfahrt: Um die Werkstoffe unter Weltraumbedingungen mit hoher Strahlungseinwirkung besonders fest und widerstandsfähig zu machen, werden die Nanoröhrchen in den Werkstoff eingebracht.

In der jüngeren Vergangenheit ist das Interesse an Carbon Nanotubes aufgrund ihrer einzigartigen Materialeigenschaften enorm gestiegen. Denn mit ihrer Hilfe lassen sich völlig neue Werkstoffe mit spektakulären Eigenschaften entwickeln.



Dieses Potenzial soll gezielt genutzt werden – und deshalb wurde mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung die Innovationsallianz CNT (Inno.CNT; [www.cnt-initiative.de](http://www.cnt-initiative.de)) gegründet. Ihr Ziel ist es, einen zukünftigen Schlüsselmarkt der Werkstofftechnologie in Deutschland zu etablieren, der als weltweiter Leitmarkt für neuartige Kohlenstoffnanomaterialien fungieren soll. Dazu hat sich ein außergewöhnlich großer Kreis aus rund 80 kompetenten Partnern aus Industrie und Wissenschaft zur Inno.CNT zusammengefunden. Auch das Fraunhofer IFAM gehört dazu.

---

### **PLATO-Aktivitäten im Teilprojekt CarboFunk**

---

Die Fraunhofer IFAM-Experten für Plasmatechnik und Oberflächen sind dabei wichtige Impulsgeber im Teilprojekt CarboFunk. Zusammen mit weiteren industriellen und wissenschaftlichen Einrichtungen wird in diesem Vorhaben die gezielte Modifizierung der CNT weiterentwickelt – denn unbehandelte CNT sind nur bedingt für die Herstellung leistungsfähiger Komposite geeignet. Erst durch die Oberflächenmodifizierung wird es beispielsweise möglich, CNT im nicht agglomerierten Zustand effizient in reaktive Polymerwerkstoffe oder andere Werkstoffe einzuarbeiten, um so Faserverbundkunststoffe für Leichtbauanwendungen mechanisch zu verstärken.

Da die gesundheitlichen Risiken, die von Kohlenstoffnanoröhren ausgehen könnten, noch nicht ausreichend untersucht sind, müssen Prozesse und Verfahren entwickelt werden, die die Verarbeitung der Partikel für den Anwender gefahrlos ermöglichen. Eine Aufgabe des Projekts CarboFunk ist daher auch die Entwicklung von Methoden, mit denen CNT sicher in einen Feststoff überführt oder in ein Lösungsmittel hinein vordispersiert werden können. Erwünscht ist dabei eine langzeitbeständige Verbindung zwischen CNT und Matrixmaterial, weil so die Freisetzung von CNT bei der Verarbeitung und Handhabung vermieden werden kann.

Was von PLATO bereits für die Funktionalisierung des Low-Budget-Produkts Ruß entwickelt worden war, kann nun für das hochpreisige High-End-Produkt CNT exzellent genutzt werden. In der im Fraunhofer IFAM entwickelten Anlage lassen sich CNT in einem geschlossenen Kreislauf funktionalisieren, in den sie als agglomerierte Ausgangsprodukte eingeführt werden. Mithilfe von Ultraschall werden diese zusammengeballten CNT dann auseinandergerissen und mit Flüssigkeit vermischt ins Plasma eingeblasen. Das geschieht in einem abgeschlossenen Reaktorsystem, sodass keine Personen mit den Partikeln in Kontakt kommen. Ergebnis ist eine zur Weiterverarbeitung geeignete Flüssigkeit – etwa Wasser oder ein Alkohol –, in der die Partikel dispergiert sind.

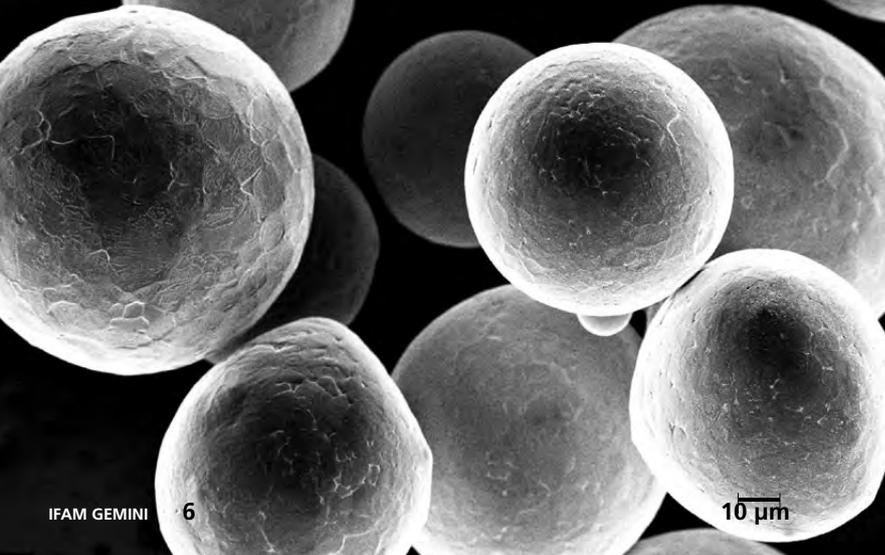
Die Vorteile gegenüber anderen Vorbehandlungsmethoden, die in CarboFunk ebenso untersucht werden, sind unter anderem der geschlossene Prozess und die Dispergierung in Flüssigkeit sowie die Automatisierung und der Transfer in die industrielle Produktion. Außerdem kommt das PLATO-Verfahren ohne chemische Bäder und Säuren aus, sodass kein Entsorgungsproblem entsteht. Stattdessen wird in der Regel mit einem Stickstoffgas und Wasser gearbeitet. Zudem geschieht der Behandlungsprozess unter Atmosphärendruck, was eine schlanke, gekapselte und umweltschonende Anlage ermöglicht. Diese ließe sich in Industrieunternehmen problemlos in den Produktionsprozess integrieren. Die aussichtsreiche PLATO-Eigenentwicklung wurde mittlerweile zum Patent angemeldet.

---

### **Mikropartikel-Beschichtungsverfahren für die Elektromobilität**

---

Mittlerweile sind die Erfahrungen von PLATO bei der Partikelbehandlung auch für den Bereich der Elektromobilität interessant geworden, in dem die Fraunhofer-Gesellschaft durch das Projekt »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM«



einen zukunftssträchtigen Themenschwerpunkt gesetzt hat ([www.forum-elektromobilitaet.de](http://www.forum-elektromobilitaet.de)). Damit will die Fraunhofer-Gesellschaft der deutschen Automobilindustrie helfen, sich langfristig einen weltweiten Spitzenplatz auf diesem Markt zu sichern. Fraunhofer-Experten arbeiten dazu an Lösungen für vielfältige Aspekte der Elektromobilität – von neuen Antriebskonzepten über die Energieversorgung bis hin zur Bauteilgestaltung. Dabei sollen alle Wertschöpfungsstufen der Elektromobilität aufeinander abgestimmt entwickelt werden. Ziel ist es, in nur zwei Jahren grundlegende Bausteine für die Elektromobilität zu entwickeln.

Das Fraunhofer IFAM ist in dem Zusammenhang unter anderem bei der Entwicklung neuer Verfahren für innovative Polymerkomposite beteiligt. Durch diese Komposite sollen die elektromagnetischen Verluste in elektrischen Maschinen reduziert werden. Dahinter steckt das Problem von auftretenden Wirbelströmen in den weichmagnetischen Komponenten elektrischer Maschinen, was zu Verlusten durch Wärme führt. Die derzeitige Lösung für das Problem ist relativ kompliziert und besteht aus einem mehrschichtigen, modularen Aufbau aus elektrisch isolierten, zusammengesetzten Blechen. Die Nachteile dabei sind vielfältig – von der aufwendigen Fertigung über Materialverluste beim Blechstanzen bis hin zu Einschränkungen bei der Bauform.

---

### Elektrische Isolierung von metallischen Füllstoffen

---

Der Lösungsansatz aus dem Fraunhofer IFAM: Durch die Beschichtung von metallischen Füllstoffen im Mikrometerbereich lassen sich die Füllstoffe gegeneinander elektrisch isolieren. PLATO kann bereits diese Partikelbeschichtung mit einem Plasmapolymere realisieren und erreicht damit eine sehr gute elektrische Isolationswirkung (Abb. 6). Im Themenschwerpunkt 2 »Energieerzeugung, -verteilung und -umsetzung« des Fraunhofer-Verbundprojekts Elektromobilität befasst sich die

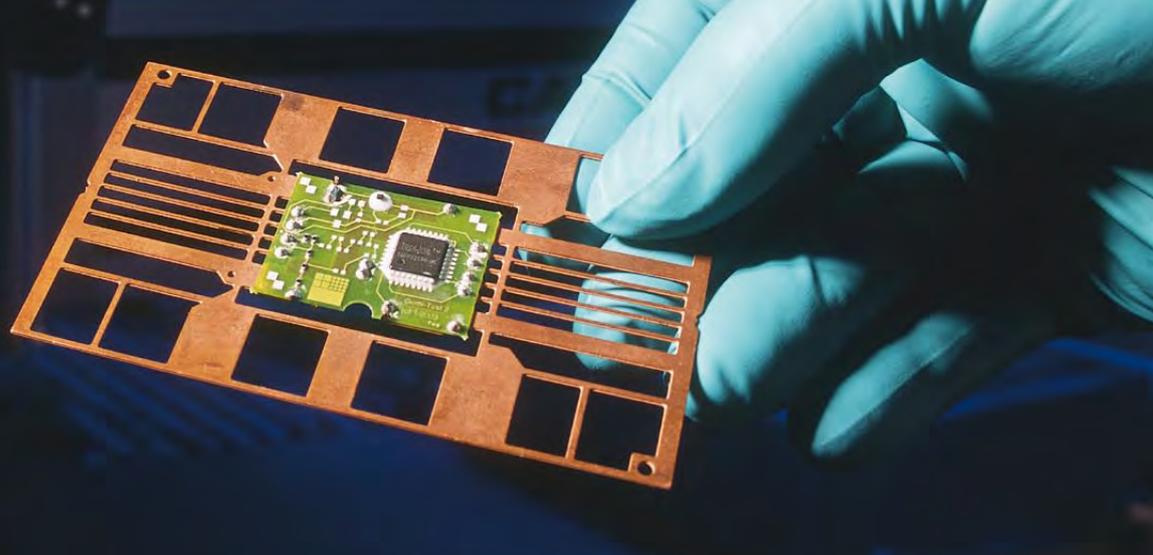
Abteilung nun mit der Weiterentwicklung von Verfahren zur Beschichtung weichmagnetischer Pulver. Auf der Basis einer Plasmabeschichtung unter Atmosphärendruck sollen weichmagnetische Pulver mit unterschiedlichen Größenverteilungen beschichtet werden. Im Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) erfolgt dann die Weiterverarbeitung mit thermoplastischen oder duromeren Polymeren. Die umfangreichen Erfahrungen von PLATO bei der Partikelbeschichtung und die enge Zusammenarbeit mit den Experten aus weiteren Fraunhofer-Instituten liefern bereits erste Erfolge. Denn polymergebundene Weichmagnetika eröffnen aufgrund ihrer flexiblen Formbarkeit ganz neue Möglichkeiten, um elektromagnetische Bauelemente herzustellen. Dadurch ergeben sich neue technische Konzepte für den Einbau von Hochleistungselektronik in komplex geformte Bauräume.

---

### IPANEMA – neue Packaging-Materialien für Bauelemente

---

Ein weiterer aussichtsreicher Ansatz, in dem die Plasmapolymere auf Mikropartikeln eine entscheidende Rolle spielt, wird durch PLATO seit Herbst 2007 im Projekt IPANEMA (Förderkennzeichen 01R10716B) verfolgt. Dazu haben sich Partner aus Industrie und Forschung zu einem Verbundprojekt zusammengeschlossen, um isolierte metallische Partikel für neue Materialien in der Elektronik und Elektrotechnik zu entwickeln. Sie sollen als innovative Packaging-Materialien – also Materialien, die dem Schutz vor Umwelteinflüssen dienen – neue elektrotechnische und elektronische Produkte möglich machen und damit – so das Ziel des Projekts – die Wettbewerbsfähigkeit verschiedener Industriezweige verbessern. Die einzigartigen wärmeleitenden Eigenschaften metallischer Partikel und Materialien sollen dabei – ermöglicht durch die isolierenden dünnen plasmapolymere Schichten – für den Einsatz als elektrisch isolierende Werkstoffe nutzbar gemacht werden. Dadurch wird es möglich, Bauelemente und Systeme ganz neu auszu-



legen und zu konstruieren, da derzeitige Bauweisen bereits an ihre Grenzen stoßen (Abb. 7).

Hintergrund dieses Projekts ist die Tatsache, dass die zunehmende Miniaturisierung und Integration im Chip- und Baugruppenbereich immer größere Leistungsdichten ermöglicht – mit der Folge, dass auch die Betriebstemperaturen beständig steigen. Andere Probleme ergeben sich dadurch, dass elektronische Baugruppen bei höheren Umgebungstemperaturen – etwa im Automobilbereich – oder bei hoher Luftfeuchtigkeit, beispielsweise auf asiatischen Märkten, eingesetzt werden.

Wohin mit der Wärme? Das ist eine der entscheidenden Fragen, die es in Zeiten zunehmender Miniaturisierung, Leistungssteigerung und Multifunktionalität technischer und elektronischer Produkte zu beantworten gilt. Denn bei mehr als der Hälfte der Funktionsausfälle von aktiven Bauelementen ist eine zu hohe Temperatur der auslösende Faktor.

Ziel von IPANEMA ist es daher, die thermische Leitfähigkeit der Packaging-Materialien zu verbessern, um die Wärme möglichst effizient abzuführen. Dies soll durch dünne, elektrisch isolierende Plasmapolymerschichtungen für metallische Partikel geschehen, sodass neue Hybridpolymere mit hoher Packungsdichte realisiert werden können. Neben Aluminium- und Magnesium- sind dabei Kupferpartikel von gesteigertem Interesse, weil das Material eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist. Auch in dem Projekt erweist sich die von PLATO entwickelte Partikelbeschichtung als vielversprechender Ansatz. Ziel ist die Entwicklung von Polymeren, in die durch Niedertemperatur-Plasmapolymersation isolierend beschichtete Kupferpartikel fest eingebettet sind. Diese leiten die Wärme hervorragend ab, verhindern durch die Beschichtung jedoch elektrische Kontakte. Den wärmeleitfähigen Polymerschichten als Packaging-Materialien lassen sich bei Bedarf noch weitere Funktionen, etwa zur zusätzlichen Verwendung als Füll- oder Dichtstoff, hinzufügen.

## KONTAKT

*Dr. rer. nat. Jörg Ihde*  
 Telefon +49 421 2246-427  
 joerg.ihde@ifam.fraunhofer.de

*Dr. Ralph Wilken*  
 Telefon +49 421 2246-448  
 ralph.wilken@ifam.fraunhofer.de

### Institut

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

- 1 | 2** *Plasmavorbehandelte Farbpigmente und Ruße: links unbehandelt, Mitte und rechts mit unterschiedlichen Behandlungsintensitäten behandelt.*
- 3** *Schematische Darstellung eines Multiwall-Kohlenstoffnanoröhrchens (CNT).*
- 5** *Leitfähige Lackierungen und Klebungen für Hochleistungsanwendungen durch funktionalisierte Kohlenstoffnanoröhren (CNT; Quelle: MEV-Verlag).*
- 6** *Plasmabeschichtete Mikrometallpulver für Anwendungen im Bereich der Elektromobilität.*
- 7** *Wärmeleitfähige Packaging-Materialien für innovative Fertigungskonzepte (Quelle: MEV-Verlag).*