



# Transparent und leitfähig

Transparente und  
gleichzeitig leitfähige  
PMMA-Platte

**Oberflächen.** Eine neu entwickelte Methode ermöglicht es, Polymeroberflächen bei der Herstellung oder Verarbeitung in einem Formwerkzeug mit einer elektrischen Flächenleitfähigkeit zu versehen. Durch einen einfachen Prozessschritt wird dabei ein hochleitfähiges Netzwerk aus Kohlenstoffnanoröhren (Carbon Nanotubes, CNT) in die obersten Nanometer der Polymeroberfläche integriert. Durch dieses Netzwerk können Oberflächenleitfähigkeiten von bis zu  $10^{-3}$  S realisiert werden.

## HOLGER ALTHUES U. A.

Der größte Anteil technisch bedeutender Polymere besteht aus elektrisch isolierenden Werkstoffen. Dennoch besteht für elektrisch leitende Polymere ein großer und wachsender Markt mit vielfältigen Anwendungen.

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU110496

Eingesetzt werden leitfähige Polymere vor allem für

- Antistatik bzw. Vermeidung elektrostatischer Aufladungen,
- Gehäuse mit elektromagnetischer Abschirmung,
- elektrostatische Lackierung,
- gedruckte Elektronik,
- Elektroden für Displays bzw. Beleuchtung und
- Elektroden für Photovoltaik.

Während Anwendungen im Bereich der Antistatik nur geringe Leitfähigkeit (Oberflächenleitfähigkeit von  $10^{-9}$  S) erfordern, werden in Hightechanwendungen wie gedruckte Elektronik, Displays bzw. Beleuchtung und Photovoltaik sehr hohe Leitfähigkeiten ( $10^{-1}$  bis  $10^{-4}$  S) in Kombination mit optischer Transparenz benötigt.

Um Kunststoffe elektrisch leitend auszustatten gibt es bereits verschiedene technische Lösungen, die Anwendung →

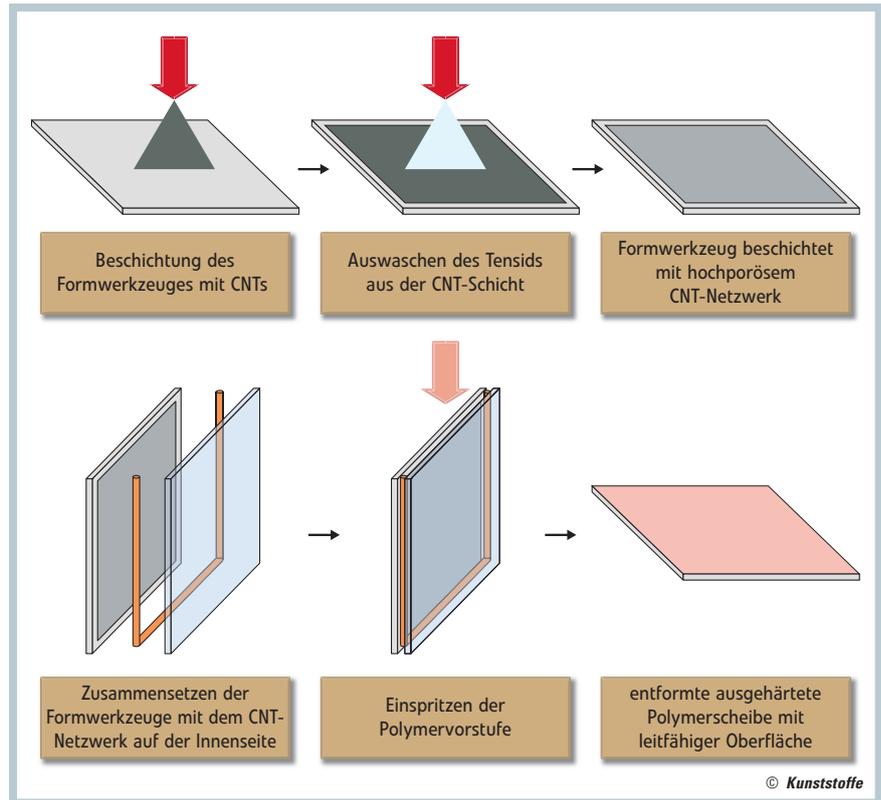
finden. Ein Ansatz ist das Einbringen von leitfähigen Additiven (Leitruße, Kohlenstofffasern, Metallpulver bzw. -fasern), z. B. über die Polymerschmelze. Aufgrund der hohen nötigen Volumenanteile dieser Fremdteilchen ist allerdings mit einer Veränderung der Eigenschaften (z. B. mechanische Eigenschaften und Chemikalienbeständigkeit) zu rechnen und die Lichttransmission im Falle transparenter Polymere wird stark verringert. Ein weiterer Ansatz ist die Beschichtung der Kunststoffe mit leitfähigen Schichten. Hierfür können nur Verfahren eingesetzt werden, die bei niedrigen Temperaturen arbeiten, wobei Haftungsprobleme oder hohe Kosten bzw. aufwendige Verfahren nachteilig sein können. Intrinsisch leitfähige Polymere kommen aufgrund von hohen Kosten und geringer Stabilität nur für Spezialanwendungen in Frage.

Eine Alternative dazu bietet das vom Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS), Dresden, in diesem Artikel vorgestellte Verfahren.

**Das Verfahren**

Das Verfahren lässt sich in zwei grundsätzliche Schritte unterteilen und ist in **Bild 1** schematisch dargestellt. Die erste Phase beschreibt die Aufbringung eines hochporösen leitfähigen Netzwerks auf die Innenseite des Formwerkzeugs. In der zweiten Phase, der eigentlichen Herstellung des Polymerformteils, wird die Polymervorstufe bzw. -schmelze eingefüllt und ausgehärtet.

Zu Beginn der ersten Phase wird eine stabile Dispersion von Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT) aus Wasser als Lösungsmittel und einem auf die CNTs abgestimmten Tensid erzeugt. Es können sowohl mehrwandige als auch einwandige CNTs eingesetzt werden, sodass unterschiedliche Eigenschaftsprofile zugäng-



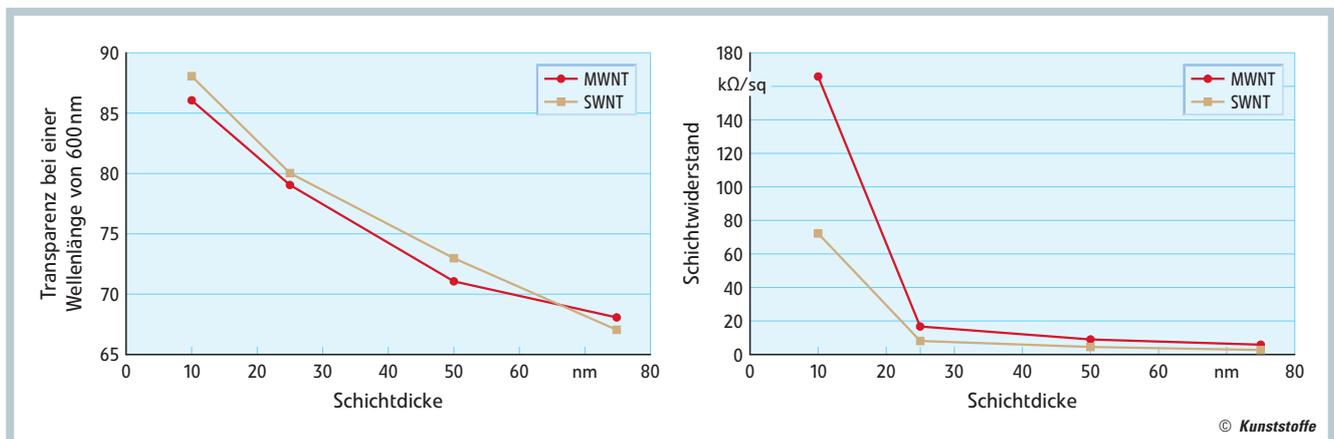
**Bild 1. Schematische Darstellung des neu entwickelten Verfahrens zum Einbringen eines CNT-Netzwerks in die Oberfläche eines Polymers**

lich sind. Neben wässrigen Tensidlösungen sind auch organische Lösungsmittel möglich, bei denen der Zusatz von Tensiden entfällt. Aus der Dispersion können im Anschluss dünne Schichten durch Sprüh-, Druck- oder Tauchverfahren direkt auf ein geeignetes Formwerkzeug aufgebracht werden. Anschließend wird das Tensid herausgewaschen und zurück bleibt ein hochporöses CNT-Netzwerk. Die Dicke kann über das Auftragsverfahren im Bereich von 10 bis einige 100 nm sehr genau eingestellt werden. Anschließend erfolgt in der zweiten Prozessphase die Einspritzung der Polymervorstufe bzw. -schmelze in die Form, dabei infil-

triert das Material das CNT-Netzwerk. Nach der Polymerisation der Polymervorstufe bzw. der Aushärtung der Polymerschmelze ist das leitfähige CNT-Netzwerk perfekt in der Oberfläche eingebettet, und es ist kein weiterer Nachbehandlungsschritt notwendig.

**CNT in PMMA-Scheiben integrieren**

Als Anwendungsbeispiel wurde die Methode für die Integration von CNTs in PMMA-Scheiben (**Titelbild**) demonstriert. Mittels Sprühverfahren wurden dünne Schichten aus einwandigen und mehr-



**Bild 2. Bestimmung von Transparenz (links) und Schichtwiderstand (rechts) der PMMA-Platte**

wandigen CNTs zunächst auf Glasscheiben aufgetragen. Die Glasscheibe wurde mit einer zweiten, unbeschichteten Scheibe und einem Rahmen als Abstandhalter zu einer Kammer zusammengefügt. Ein polymerisierfähiges Gemisch aus Methylmethacrylat, gelöstem PMMA und einem thermischen Initiator wurde in die Kammer eingefüllt und bei 50 °C im Wasserbad polymerisiert und anschließend thermisch nachgehärtet. Die Kammer wurde im Anschluss geöffnet und das Polymerwerkstück entnommen. Die Materialien wurden hinsichtlich Transparenz, Leitfähigkeit und Oberflächenqualität untersucht.

Die Transparenz im sichtbaren Wellenlängenbereich wurde anhand von Transmissionsspektroskopie bestimmt. Die elektrische Leitfähigkeit wurde mit der 4-Punkt-Spitzen-Methode ermittelt. Bei 90 % der Transmission gegenüber einer unbehandelten PMMA-Platte können Leitfähigkeiten von bis zu  $10^{-4}$  S eingestellt werden. Wie zu erwarten war, steigen mit zunehmender CNT-Schichtdicke sowohl die Leitfähigkeit als auch der Transmissionsverlust (Bild 2).

Die sichere und feste Einbettung der CNTs im Polymer konnte durch einen Tape-Test nachgewiesen werden. Dabei wird ein Klebeband an die zu untersuchende Stelle angebracht und wieder abgezogen. Das CNT-Netzwerk, das auf die Oberfläche des Formwerkzeugs (Glas bei PMMA-Polymerisation) aufgebracht wurde, wurde dabei bereits nach dem ersten Versuch vollständig entfernt. Es ist keine Leitfähigkeit mehr auf dem Glas messbar. Der Tape-Test wurde an der hergestellten PMMA-Platte durchgeführt und die Leitfähigkeit nach 1-facher, 5-facher und 10-facher Wiederholung bestimmt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die gemessene Leitfähigkeit konstant bleibt und somit keine CNTs aus der Oberfläche herausgelöst werden können. Auch durch Raster-Kraftmikroskopie-Untersuchungen kann die feste Einbettung der CNTs in die Polymermatrix bestätigt werden. Die Rauheit einer reinen PMMA-Platte ( $R_a = 1,9$  nm) und einer oberflächenmodifizierten PMMA-Platte ( $R_a = 2,1$  nm) entsprechen der geringen Rauheit des Formwerkzeugs. Eine unvollständige Einbettung der CNTs hätte eine deutlich höhere Oberflächenrauheit zur Folge.

Die hohe elektrische Leitfähigkeit der Schichten ermöglicht einen Einsatz der modifizierten PMMA-Scheiben als anti-statische Polymergläser. Durch die erreichbare Transparenz und die hohe Fle-



Bild 3. Elektrolumineszenzfolie mit transparenten, flexiblen Elektroden aus CNTs

xibilität des Netzwerks sind die CNTs auch als transparente Elektroden in Verbindung mit Polymerfolien für flexible optische Bauteile, wie z. B. Elektrolumineszenzfolien einsetzbar (Bild 3).

### Vorteile des Verfahrens

Das Verfahren ist kostengünstig, technisch einfach zu realisieren und kann in bereits bestehende Fertigungsanlagen integriert werden. Gegenüber herkömmlichen Leitadditiven, die dem Bulk-Polymer zugemischt werden, sind die Materialkosten sehr gering, da nur eine wenige Nanometer dicke CNT-Schicht benötigt wird. Um  $1 \text{ m}^2$  Oberfläche mit einer 100 nm-CNT-Schicht zu versehen, werden nur wenige Milligramm CNTs benötigt. Diese Ersparnis hat neben dem geringen Preis den Vorteil, dass die mechanischen und optischen Eigenschaften des Polymers nahezu unverändert bleiben. Des Weiteren sind auch die erreichbaren Leitfähigkeiten als Vorteil zu sehen. Ab einer Leitfähigkeit von  $10^{-9}$  S gilt ein Material als nicht elektrostatisch aufladbar und die mit diesem Verfahren erreich-

baren Leitfähigkeiten liegen im Bereich von  $10^{-3}$  S um Größenordnungen höher. Die hervorragenden Eigenschaften derartiger Oberflächenmodifikationen eröffnen somit den Kunststoffen neue Anwendungsgebiete. ■

### DIE AUTOREN

DR. HOLGER ALTHUES, geb. 1977, ist Leiter der Gruppe Chemische Oberflächentechnologien des Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, Dresden; Holger.Altthues@iws.fraunhofer.de

PROF. STEFAN KASKEL, geb. 1969, ist Leiter der Abteilung CVD-Dünnschichttechnologien des Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, Dresden, und gleichzeitig Inhaber des Lehrstuhls für Anorganische Chemie an der TU Dresden; Stefan.Kaskel@iws.fraunhofer.de

DIPL.-ING. JENS LIEBICH, geb. 1984, ist Projektleiter in der Gruppe Chemische Oberflächentechnologien des Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, Dresden; Jens.Liebich@iws.fraunhofer.de

### SUMMARY

#### TRANSPARENT AND CONDUCTIVE SURFACES

A newly developed method makes it possible to provide polymer surfaces with electrical conductivity during production or processing in a mold. Through a simple process step, a highly conductive network of carbon nanotubes (CNT) is integrated into the outermost nanometers of the polymer surface. With this network, surface conductivity values of up to  $10^{-3}$  S can be achieved.

Read the complete article in our magazine

*Kunststoffe international* and on

[www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

### i Kontakt

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS)

D-01277 Dresden

TEL +49 351 83391-0

→ [www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)