



# Elektrosmog? Nein Danke!

## Nanolacke mit Silber-beschichteten Kupferpartikeln zur Abschirmung elektromagnetischer Strahlung

Axel Kalleder\*, Blieskastel, Deutschland; Tiziano Minghetti und Christian Schelle, Altdorf, Schweiz

**Elektrisch leitende Zusätze im Lack schützen vor elektromagnetischer Strahlung. Die in einem silikatischen Basislack dispergierten metallischen AgCu-Partikel sind dafür ausreichend leitfähig und zugleich relativ preiswert. Die notwendige Schichtdicke ist mit Messungen der elektromagnetischen Abschirmung zu bestimmen.**

Unter elektromagnetischen Wellen versteht man die sich im Raum ausbreitenden Schwingungen elektrischer und magnetischer Felder. Je nach ihrer Energie erscheint eine elektromagnetische Welle unterschiedlich: Nach zunehmender Energie geordnet gehören dazu technischer Wechselstrom, Radiowellen (Ultrakurzwell-

le, Mittelwelle, Langwelle), Mikrowellen, Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung), sichtbares Licht, Ultraviolettstrahlung, Röntgen- und Gammastrahlung.

Elektromagnetische Wellen stören unter Umständen die Funktion mancher elektronischer Geräte. Darüber hinaus gibt es Berichte über den negativen Einfluss solcher Wellen auf die menschliche Gesundheit. Aber auch aus anderen Gründen kann es erforderlich sein, Maßnahmen zur elektromagnetischen Abschirmung von Bauteilen und anderem zu treffen. Materialien mit guter elektrischer Leitfähigkeit und niedriger magnetischer Durchdringbarkeit sind in der Lage, elektromagnetische Energie in Wärme umzuwandeln und so Bauteile vor elektromagnetischer Strahlung zu schützen.

Abschirmende Beschichtungen sollten möglichst auf unterschiedlichen Untergründen einsetzbar sein, den hohen Anforderungen an die elektrische Leitfähigkeit standhalten und zudem möglichst preisgünstig sein.

### Silikatische Basis

Ein Ausgangsmaterial für einen Beschichtungslack zur elektromagnetischen

Abschirmung besteht aus Methyltriethoxysilan, Tetraethoxysilan und Kieselsol. Nach dem Mischen der Komponenten wurde die Hydrolyse und Kondensation der Kieselsäureester durch Zugabe von 37,5%iger Schwefelsäure gestartet. Abb. 1 zeigt den Aufbau des so hergestellten Basismaterials.

Die wässrige, silikatische Basis entstand durch sukzessive Wasserzugabe. Dadurch wird eine wässrige Bindemittelphase ausgefällt und anschließend stabilisiert. In diesen Basislack wurden die leitfähigen Partikel mit Hilfe einer Dispergierscheibe eindispersiert.

Die Beschichtungen wurden mit Sprühbeschichtung (mit einer 1,4-Millimeter-Düse und einem Sprühdruk zwischen 4 und 6 Bar) auf Glas oder Kunststoff appliziert. Die Schichtverdichtung erfolgte bei 80 Grad Celsius (°C) für 20 Minuten.

### Kupfer/Silber Core/Shell-Partikel

Zunächst wurden verschiedene Basislacke mit Kupfer, Silber und silberbeschichteten Kupferpartikeln versetzt. Die Versuche führten zum leitfähigen Grundmaterial. Zudem halfen sie, geeignete Partikel und Mischungen sowie einen optimalen Gehalt an Partikeln zu finden.

\* Korrespondierender Autor. Kontakt:  
Dr. Axel Kalleder  
Inomat GmbH  
Saarpfalz-Park 1  
D-66450 Bexbach  
Tel. +49 6826 9344 11, Fax +49 6826 9344 22  
axel.kalleder@inomat.de

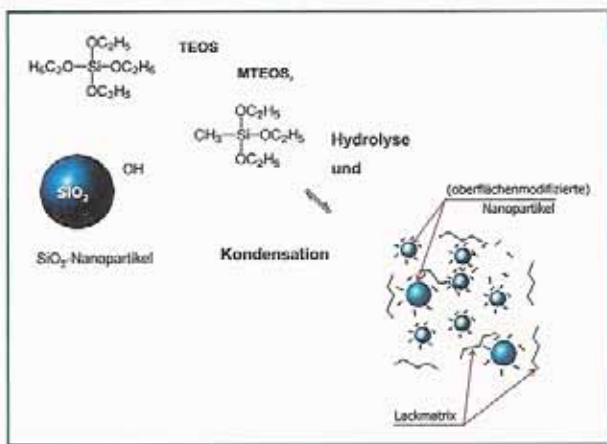


Abb. 1: Schema des Aufbaus und der Zusammensetzung des wässrigen, silikatischen Basislackes zum Einbau der leitfähigen Partikel



Abb. 2: Überblick über den Aufbau der EMS-Messung in der abgeschirmten Absorberhalle



► Tab. 1: Elektrische Widerstände von silikatischen Beschichtungen mit unterschiedlichen Füllgraden von Silber- bzw. AgCu-Partikeln

Silber						
Silbergehalt [Vol.%]	10	20	40	50	70	90
Widerstand [ $m\Omega \cdot cm^{-1}$ ]	$\infty$	$\infty$	100	75	40	20
AgCu						
AgCu-Gehalt [Vol.%]	10	15	20	25	30	40
Widerstand [ $m\Omega \cdot cm^{-1}$ ]	$\infty$	$\infty$	375	125	60	40

Werte gemittelt über fünf Einzelmessungen, Messung mit einem Multimeter des Typs Voltcraft VC 840 True RMS über eine Entfernung von 20 cm

### Kupfer allein oxidiert zu stark

In den Beschichtungslacken wurden unterschiedliche pH-Werte – vom sauren bis zum alkalischen Bereich – eingestellt. In allen Fällen neigten die eingesetzten Kupferpartikel sehr stark zur Oxidation. Die gemessenen Leitfähigkeiten lagen deutlich unter den für eine Abschirmung erforderlichen Werten. Daher schied Kupferzusatz als leitfähiges Material aus.

Die Silberpartikel dispergierten im wässrigen, silikatischen Beschichtungslack sehr gut. Damit war das Silber gut in die silikatische Matrix eingebettet. Zunächst wurden Mischungen von feinen Silberpartikeln (mittlerer Durchmesser 2 Mikrometer ( $\mu m$ )) und gröberem Silberflakes (mittlerer Durchmesser 10  $\mu m$ ) getestet. Ein Ge-

wichtsverhältnis von einem Teil feinerem zu zwei Teilen gröberem Silber lieferte im Vergleich die besten Ergebnisse für die Beschichtung – hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit bei einem konstantem Volumenanteil an Gesamtsilber in der Beschichtung. Dieses Mischungsverhältnis wurde für die weiteren Versuche beibehalten. Die Beschichtungen zeigten ausnahmslos sowohl auf Glas als auch auf Kunststoff (PE-HD, zuvor beflammt) exzellente Benetzung und Haftung (Gitterschnitt-Klasse 0).

Tab. 1 enthält die Messwerte für den elektrischen Widerstand der Beschichtungen. Hierbei wurden je fünf Einzelmessungen an unterschiedlichen Stellen mit einem Messspitzenabstand von 20 Zentimetern durchgeführt.



Abb. 3: Polyethylen Deckelfass mit AgCu-Beschichtung (Partikelanteil 20 Vol.%, Schichtdicke 50  $\mu m$ ) mit bereits eingebautem Empfänger

### Silber allein erfordert zu hohen Füllgrad

Es zeigte sich, dass ein Füllgrad von 20 Volumenprozent (Vol.%) zu niedrig ist, um die Beschichtung elektrisch leitfähig zu machen. Erst die Probe mit 40 Vol.% Silber zeigte eine nennenswerte Leitfähigkeit. Allerdings ist ein so hoher Füllgrad mit Silber aus ökonomischer Sicht nicht zu empfehlen. Dies gilt auch für den Fall, dass zwischen 20 und 40 Vol.% Füllgrade existieren, die elektrisch leitfähige Beschichtungen zugänglich machen. Es wurde daher auf weiterführende Untersuchungen mit reinem Silber als Füllstoff verzichtet.

### Kostenreduzierung durch Core-Shell-Partikel

Eine sehr elegante Möglichkeit zur Kostenreduzierung besteht darin, Core-Shell-Partikel einzusetzen, die aus einer hoch leitfähigen Hülle und einem zwar weniger leitfähigen, aber deutlich preiswerteren Kern bestehen. Am Markt erhältliche silberbeschichtete Siliciumdioxidpartikel schießen aus Kostengründen aus, da sie teurer sind als reines Silber. Verwendet wurden schließlich silberbeschichtete Kupferpartikel (AgCu-Partikel) von Ferro.

In einem ersten Schritt wurden die AgCu-Partikel in den bislang verwendeten, wässrigen Beschichtungslack eingearbeitet. Auch diese Beschichtungen wiesen auf Glas und auf PE-HD eine sehr gute Benetzung und Haftung auf. Tab. 1 enthält die Mess-



#### • Dr. Axel Kalleder,

Inomat GmbH, studierte Chemie an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken und schloss seine Doktorarbeit im Bereich Werkstoffwissenschaften 1998 bei Prof. Dr. Helmut Schmidt am Leibniz-Institut für Neue Materialien gem. GmbH ab. Bis 2000 leitete er dort die Forschungsgruppe Binder und Isolierwerkstoffe. 2001 wechselte er als Geschäftsführer zu Inomat.



#### • Tiziano Minghetti,

Ruag Components, studierte Werkstoffwissenschaften an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne. Seit 1995 ist er bei Ruag Components im Bereich Verfahren & Grundlagen angestellt.



#### • Christian Schelle,

Ruag Components, studierte Chemie an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Zwischen 1995 und 1999 arbeitete er am Leibniz-Institut für Neue Materialien gem. GmbH in Saarbrücken an der Entwicklung von Sol-Gel-Beschichtungen auf Metallen. Seit 2000 leitet er den Bereich Verfahren & Grundlagen bei Ruag Components.

werte für Beschichtungen mit unterschiedlichen Gehalten an AgCu-Partikeln zwischen 10 und 50 Vol.-%.

Die gemessenen Widerstände sind durchweg vielversprechend - selbst bei einem Füllgrad von nur 20 Vol.-%. Der Einsatz dieses Füllstoffes eröffnete somit vor allem vor einem ökonomischem Hintergrund neue Perspektiven.

## Messung der elektromagnetischen Abschirmung

Die Bestimmung der elektrischen Eigenschaften der Beschichtungen diente lediglich der Vorauswahl des Beschichtungsmaterials. Denn die ausschließliche Messung der Leitfähigkeit ergibt kein Maß für die Fähigkeit einer Beschichtung, vor elektromagnetischer Strahlung zu schützen. Zur Bestimmung der Abschirmung wurde daher ein Messaufbau gewählt, bei dem sich ein elektromagnetischer Sensor im Inneren eines beschichteten Kunststofffasses befindet, wie es *Abb. 2* zeigt. Damit wurde die elektromagnetische Dämpfung (EMS) bestimmt.

Das Kunststofffass und dessen Deckel wurden außen vollflächig beschichtet (*Abb. 3*). Es wurde eine AgCu-basierte, wässrige,

silikatische Beschichtung mit einem Volumenanteil an AgCu-Partikeln von 20 Prozent verwendet. Zur Ermittlung der erforderlichen Schichtdicke wurde in einem Vorversuch ein Fass mit einer Schicht von 25  $\mu\text{m}$  und eines mit einer 50- $\mu\text{m}$ -Schicht ausgestattet.

## Frequenzabhängige Dämpfung

Die Messergebnisse zeigt *Abb. 4*, hierbei sind deutliche Unterschiede zu erkennen: Im Falle des Fasses mit 50  $\mu\text{m}$  Schichtdicke wurde eine sehr starke Signaldämpfung über das gesamte Frequenzspektrum gemessen. Die maximale Dämpfung erschien bei mehr als 60 Dezibel (dB). In höheren Frequenzbereichen (zwischen 800 und 1000 Megahertz) wurde eine geringere Dämpfung gemessen, sie blieb aber immer stärker als 30 dB.

Je höher die Frequenz ist, desto stärker ist der Einfluss von Probengeometrie und Schichtinhomogenitäten auf das Dämpfungsverhalten, beruhend auf der Zusammensetzung der Schicht und der Schichtdicke. Die 25- $\mu\text{m}$ -Beschichtung zeigte aufgrund der geringeren Dicke und der höheren Schichtinhomogenitäten eine etwa um 20 dB niedrigere Dämpfungsleistung.

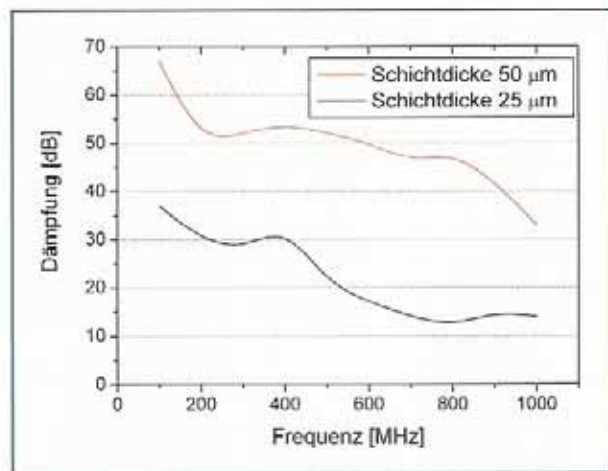


Abb. 4: Schirmdämpfung in Abhängigkeit von der Schichtdicke über einen Frequenzbereich von 30 bis 1000 MHz

## ► Ergebnisse auf einen Blick

- Wässrige, silikatische Nanolacke eignen sich als Basismaterialien für elektromagnetisch abschirmende Beschichtungen.
- Im Vergleich zu reinem Silber ergeben silberbeschichtete Kupferpartikel als Füllstoff bei ansonsten identischen EMS-Eigenschaften preislich interessante Beschichtungen.
- Das erarbeitete Basiswissen gilt es nun vor dem Hintergrund konkreter Anforderungsprofile aus der Praxis auszubauen und in Produkte umzusetzen.

## Erhebliche Kostenreduzierung mit AgCu statt Silber

AgCu-Partikel bieten eine preislich interessante Alternative zu reinem Silber. Der Preis für einen Beschichtungslack mit 20 Vol.-% Silber liegt weit über 1000 Euro pro Kilogramm, was maßgeblich durch den Silberpreis bedingt ist. Hieraus ergibt sich ein Beschichtungspreis von über 500 Euro pro Quadratmeter, bezogen auf eine 50  $\mu\text{m}$  dicke Schicht ohne Berücksichtigung des Oversprays. Der Lackpreis für einen 20 Vol.-%igen AgCu-Lack liegt bei etwa 70 Euro pro Kilogramm, was in etwa Lackkosten von 35 Euro pro Quadratmeter entspricht.

Weiterführende Arbeiten werden die Praxistauglichkeit der abschirmenden Beschichtung zeigen. So ist die optimale Partikelabmischung zu bestimmen, die elektromagnetische Strahlung im Bereich von Frequenzen oberhalb von einem Gigahertz abschirmt. Zudem ist die Bewitterungsbeständigkeit der Beschichtung zu ermitteln und so zu optimieren, dass konkrete Anforderungsprofile erfüllt werden. ◀

## ► Literatur

- [1] K.-H. Gonschorek, Elektromagnetische Verträglichkeit, VDE Verlag 2006.

Wer dazu gehört, liest **FARBE UND LACK.**



Jetzt abonnieren!

Vincentz Network  
Postfach 62 47 · 30062 Hannover · Deutschland  
Tel. +49 511 9910-021 · Fax +49 511 9910-029  
www.farbeundlack.de · subscriptions@coatings.de

