

IGF-Forschungsvorhaben 19771 BR

FloPerAnti

Entwicklung neuartiger Beschichtungssysteme mit permanent anti-statischer Wirkung für den Einsatz auf elastischen und Laminat-Fußbodenbelägen

Durchgeführt von:

Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (IHD)

Projektleitung: Dr. Jana Peters

Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung (IOM)

Projektleitung: Dr. Roman Flyunt

Laufzeit:

01.01.2018 bis 30.06.2020

Ausgangssituation und Zielstellung

Das elektrische Verhalten von Bodenbelägen, für die vom Hersteller antistatische Eigenschaften oder ein elektrischer Widerstand bescheinigt werden, ist in der EN 14041 formuliert^[1]. Danach können Hersteller ihre Produkte als „antistatisch“ deklarieren, wenn der entsprechende Grenzwert für die Körperspannung nicht überschritten wird. Darüber hinaus ist eine Einteilung in „leitende“ bzw. „ableitende“ Fußböden zulässig, wenn der entsprechende Grenzwert für den elektrischen Widerstand unterschritten wird, was vor allem im Umgang mit ESD-empfindlichen Bauelementen (ESD – electrostatic discharge) von großer Relevanz ist.

Die elektrostatische Personenaufladung beim Begehen betrifft viele industriell gefertigte Bodenbeläge wie PVC, CV- und Design Beläge sowie Polyolefin- oder auch holzbasierte Böden wie Laminat. Die Möglichkeiten, Bodenbeläge leitfähig bzw. antistatisch auszustatten, hängen dabei sehr stark vom Bodenbelagstyp ab. Bei homogenen elastischen und textilen Bodenbelägen kann die geforderte Ableitfähigkeit durch Beimischung von chemischen Verbindungen mit bekanntem antistatischem Effekt wie zum Beispiel Industrieruß, chemischen Antistatika oder leitfähigen Textilfasern erreicht werden. Elastische Bodenbeläge können mit Beschichtungen, die entsprechende Beimengungen enthalten, oder mit zyklisch angewandten Pflegemitteln, welche Antistatika enthalten, entsprechend ausgerüstet werden. Holzbasierte Fußböden können oberflächlich mit einer antistatischen Beschichtung ausgestattet werden.

Additive, die bislang in antistatische Beschichtungen eingearbeitet werden, sind durch verschiedene Nachteile gekennzeichnet, die die Dauerhaftigkeit des antistatischen Effektes oder die Gebrauchsfähigkeit des Materials beeinflussen. Die permanente Wirkung der antistatischen Ausrüstung durch Ruß oder leitfähige Fasern kann verloren gehen, wenn der Belag nicht korrekt verlegt wird, weil auf isolierenden Fußböden zum Beispiel kein leitfähiger Vorstrich vorgenommen wird oder kein leitfähiger Klebstoff zum Einsatz kommt. Bei den chemischen Antistatika handelt es sich meist um Ammoniumsalze, die an die Oberfläche der Beschichtungen migrieren und mit der Umgebungsfeuchte wechselwirken. Durch Begehen oder Reinigungsvorgänge können sie abgetragen werden.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung transparenter Beschichtungsformulierungen für Fußböden, deren permanente antistatische Wirkung auf dem Einsatz spezieller reduzierter Grafenoxide, Polymere und Additive in Kombination mit entsprechenden thermischen oder strahleninduzierten Vernetzungstechnologien beruht.

Ergebnisse

1. Material und Methoden

Beschichtungssubstrate und Bodenbeläge

Für die Applikationsversuche wurden kommerzielle Bodenbeläge und PVC-Halbzeuge definierter Zusammensetzung ausgewählt. Damit wurde über die Bandbreite der am Markt existierenden Produkte eine sinnvolle Materialauswahl getroffen, die Kriterien wie Belagsart, stoffliche Zusammensetzung, konstruktiven Aufbau, Oberflächenstrukturen oder werksseitige Beschichtungen berücksichtigt. Aus dem Bereich der elastischen Bodenbeläge wurden mehrschichtige Designböden (*LVT - Luxury Vinyl Tile*, *SPC - Solid Polymer Core*) sowie homogene PVC-Folien, Halbzeuge und Bodenbeläge, für den Bereich holzbasierter Fußböden wurden verschiedene Lamine (*DPL - Direct Pressed Laminate*, *Printed Direct Laminate*) untersucht. Ein Überblick der eingesetzten Materialien ist in Tabelle 1 zu sehen.

^[1] DIN EN 14041:2008: Elastische, textile und Laminat-Bodenbeläge - Wesentliche Eigenschaften, Berlin: Beuth-Verlag GmbH, 2011.

Tabelle 1: Übersicht eingesetzter Fußbodensubstrate

Muster / Kürzel	Produktkategorie	Oberfläche	Materialstärke [mm]
E-1 bis E-3	LVT	Strukturiert, mit/ohne Beschichtung	4,2
E-4 bis E-5	SPC	Strukturiert, mit/ohne Beschichtung	5,0
PVC-1	PVC-Folie, weiß	Glatt, ohne Beschichtung	0,3
PVC-2	PVC-Dekorfolie, bedruckt	Glatt, ohne Beschichtung	0,1
PVC-3/PVC-4	PVC Halbzeug, grau	Glatt, ohne Beschichtung	4,0 bis 8,0
PVC-5/PVC-6	PVC-Halbzeug, weiß	Strukturiert, ohne Beschichtung	1,0 bis 2,0
PVC-7/PVC-8	PVC-Bodenbelag, homogen	Glatt, oberflächenvergütet	2,0
L-1/L-2	Laminat PDL	Glatt ,mit/ohne Beschichtung	8,0
L-3 bis L-6	Laminat DPL	Glatt, Melamin beschichtet	8,0

Basisformulierungen

Im Bereich der Beschichtungsstoffe für industriell gefertigte Fußböden haben sich zuletzt strahlenhärtende Lacksysteme etabliert, die für den Einsatz auf Fußböden optimiert sind. Als Ausgangsbasis für die Entwicklungsarbeiten wurden daher 12 verschiedene 100 % und wässrige UV-Lacksysteme untersucht und anhand der spezifischen Oberflächenwiderstände geeignete Basisformulierungen ausgewählt. Die Applikation dieser Beschichtungsstoffe erfolgte mittels Spaltrakel bzw. Walzen, wobei Trockenschichtdicken von 10 µm bis 20 µm angestrebt wurden. Nach Strahlenhärtung wurden die Beschichtungen hinsichtlich Untergrundbenetzung, Filmbildung und Verlauf visuell beurteilt. Tabelle 2 beschreibt exemplarisch die relevanten Basisformulierungen.

Tabelle 2: Ausgewählte Beschichtungsstoffe

Muster / Kürzel	Bindemittelbasis	Aushärtung	Kennzeichen
C-1/C-10	Urethan-/Acrylat	Physikalisch + UV-Härtung	Wässriger Decklack
C-2/C-3/C-4/C-7/C-8/C-9	Acrylat	UV-Härtung	100% UV-Decklack
C-15	Acrylat	UV-Härtung	70% C-2 / 30% (A-5+TSSM)
C-16	Acrylat	UV-Härtung	90% C-2 / 10% (A-5+TSSM)
C-17	Acrylat	UV-Härtung	70% C-2 / 30% (A-5+th-rGO)

Additive

Über Additive in Lacken und Beschichtungen lassen sich gezielt funktionale, optische oder schützende Eigenschaften des Beschichtungsstoffes erzeugen, verstärken oder verbessern. Das Entwicklungsziel lag auf der Synthese antistatisch wirkender Additiven auf Basis von reduziertem Graphenoxid (rGO) bzw. Polyethylenglykol-Diacrylaten (PEGDA). Ausgangsstoff für die Entwicklung rGO-basierter Additive waren Graphenoxide (GO) unterschiedlicher Defektdichte, Wasserlöslichkeit und Partikelgröße sowie aminmodifizierte rGO und Graphennanoplättchen (Tabelle 3). Die Ausgangsstoffe der PEGDA-basierenden Additive unterschieden sich hinsichtlich Kettenlänge und Reinheitsgrad.

Tabelle 3: Übersicht eingesetzter Additive auf Basis GO und PEGDA

Kürzel	Stoffliche Charakterisierung	Kennzeichen
A-5	Polyethylenglycol diacrylate (Hersteller A)	M=682 g/mol, Kettenlänge n= 13
A-6	Polyethylenglycol diacrylate (Hersteller A)	A-5, thermisch behandelt
A-7	Polyethylenglycol diacrylate (Hersteller A)	M=286 g/mol, n= 4
A-8	Polyethylenglycol diacrylate (Hersteller A)	M=506 g/mol, n= 9
A-9	Polyethylenglycol diacrylate (Hersteller B)	M=682 g/mol
A-10	Polyethylenglycol diacrylate (Hersteller C)	M=682 g/mol (gereinigtes Produkt)
A-15	Iriotec 7320	Elektrisch leitendes (Farb-) Pigment (Fa. Merck)
MSS	Methansulfonsäure	M=96 g/mol
TSSM	p-Toluolsulfonsäure Monohydrat	M=190 g/mol
PSSM	Polystyrolsulfonsäure	M=75000 g/mol, CAS: 68037-26-3
ai-GO	Graphenoxid („almost intact“)	Defektdichte ca. 0.3%; Wässrige Lösung
th-rGO	Thermisch reduziertes ai-GO / A-5	3h bei 115 C unter Luft dem Rückfluss
sh-rGO	Strahlenchemisch reduziertes ai-GO	wässrige Dispersion

Charakterisierung

Der Erfolg der Synthese elektrostatischer Additive wurde über die Bestimmung elektrostatischer Kenngrößen kontrolliert. Dafür wurde auf die Bestimmung folgender Kenngrößen fokussiert:

- Spezifischer Oberflächenwiderstand R_s in Anlehnung an DIN EN 62631^[2]
- Aufladespannung U_A mittels apparativem Begehtest

Für die Bestimmung aller elektrostatischen Kenngrößen wurde ein einheitliches Prüfregime definiert, welches auf den Normprüfungen basiert. Dieses legt eine 7-tägige Konditionierung der Entwicklungsproben bei 23°C und 25% relativer Luftfeuchte und die Durchführung der Messungen bei diesen Umgebungsbedingungen fest.

Die Messung des Oberflächenwiderstandes erfolgt entlang der Nutzfläche des zu prüfenden Materials und wird mit einem geeigneten hochohmigen Widerstandsmessgerät erfasst. Durch Messung des Oberflächenwiderstandes auf der Nutzfläche des zu prüfenden Materials wird die Ableitung von elektrischen Ladungen bewertet. Dies diente zur Bewertung der Synthese von Additiven auf Basis GO und PEGDA. Zielgröße waren Messwerte im Bereich $10^9 \Omega$, die Prüfbedingungen sind zu entnehmen.

Tabelle 4: Prüfbedingungen für die Bestimmung des Oberflächenwiderstandes

Einflussgröße	Prüfbedingungen
Messspannung	10 V für $R^* < 1 \cdot 10^6 \Omega$; 100 V für Widerstände $1 \cdot 10^6 \Omega \leq R \leq 1,0 \cdot 10^{11} \Omega$; 500 V für Widerstände $\geq 1,0 \cdot 10^{11} \Omega$.
Probengröße	300 mm * 200 mm bis 500 mm x 800 mm
Elektrode - Kontaktfläche	65 mm
Elektrode - Masse	2 kg

² DIN EN 62631-3-1: Dielektrische und resistive Eigenschaften fester Isolierstoffe - Teil 3 1: Bestimmung resistiver Eigenschaften (Gleichspannungsverfahren) - Durchgangswiderstand und spezifischer Durchgangswiderstand - Basisverfahren. Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 2017

Die Bestimmung der Aufladespannung U_A zur Bewertung der antistatischen Wirkung der entwickelten Beschichtungen erfolgte mittels apparativem Begehtest (Abbildung 1). Dafür kommt eine Rollapparatur zum Einsatz, die durch Simulation eines Begehvorgangs eine Aufladung erzeugt, die mit der normativen Messgröße der Personenaufladung U_P vergleichbar ist. Vergleichende Untersuchungen an Laminatfußböden belegen, dass Messwerte des apparativen Begehtest mit nach EN 1815 bestimmten Werten der Personenaufladung U_P gut korrelieren.



Abbildung 1: Estameter-Gerät

2. Antistatische Additive auf Basis von reduziertem Graphenoxid

Ausgehend von einem patentierten Verfahren zur strahlenchemischen Reduktion von GO wurde ein Graphenoxid mit kleiner Defektdichte (ai-GO – almost intact GO, Defektdichte ca. 0.3%) für die Additiventwicklung eingesetzt.

Dieses Material zeichnet sich neben seiner nur wenig gestörten hexagonalen Struktur dadurch aus, dass die typische Plättchengröße (Flakes) bis 10 μm beträgt; beide Eigenschaften sind vorteilhaft für die Erniedrigung des Oberflächenwiderstandes innerhalb einer rGO-modifizierten Schicht. Dabei ist das ai-GO in einer maximalen Konzentration von 9g/l in wässriger Lösung stabil, ohne dass Sedimentation/Agglomeration beobachtet wurde.

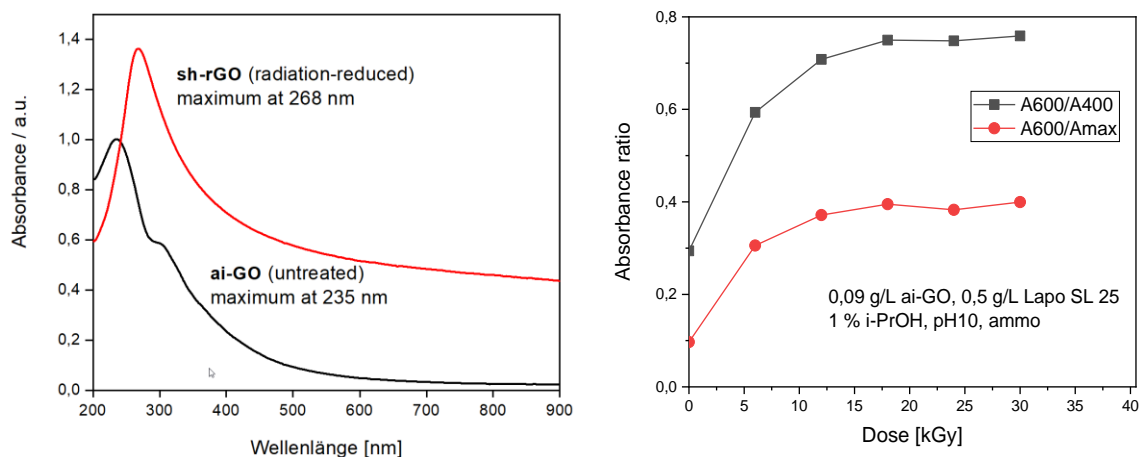


Abbildung 2: UV-VIS-Spektrum von ai-GO und strahlenchemisch reduziertem sh-rGO (links); Bestimmung der optimalen Dosis für die strahlenchemische Reduktion von GO bei 18 kGy (rechts)

Die erforderliche Strahlendosis zur Reduktion von GO ist von der Konzentration an GO-Partikeln abhängig und wurde für den angestrebten Konzentrationsbereich experimentell ermittelt. Die optimale Dosis für die strahlenchemische Reduzierung von ai-GO liegt bei 18 kGy und wurde UV-VIS-spektrosko-

pisch bestimmt, Abbildung 2 (links). Dafür wurden die Verhältnisse der Absorptionswerte A_{600}/A_{400} sowie A_{600}/A_{max} gegen die Strahlendosis aufgetragen, woraus sich der optimale Dosis-Wert durch Erreichen eines Plateaus ergibt, Abbildung 2 (rechts). Das strahlenchemisch reduzierte sh-GO zeichnet sich durch einen sehr geringen spezifischen Widerstand von $(5\pm 2)\times 10^2 \Omega$ aus (im Vergleich: ai-GO $R_s > 2\times 10^8 \Omega$). Allerdings kann dieses sh-GO bei Konzentrationen $> 0.22 \text{ g/l}$ nicht in Lösung stabilisiert werden und kam somit für die Entwicklung antistatischer Additive nicht in Frage.

Alternativ wurde mittels thermischer Reduktion des ai-GO in PEGDA ein reduziertes Graphenoxid th-rGO erzeugt, was mit einem spezifischen Oberflächenwiderstand von $(6\pm 2)\times 10^2 \Omega$ vergleichbare Eigenschaften zu sh-rGO aufweist und dabei in höherer Konzentration in wässriger PEGDA Dispersion stabilisiert werden kann.

Die Eignung dieses th-rGO zur Verbesserung der elektrostatischen Eigenschaften von Beschichtungsformulierungen wurde experimentell bestimmt, indem diese stufenweise bis zu einem Verhältnis 50:50 gemischt wurden. Nach der Strahlenhärtung erfolgte deren Charakterisierung anhand des spezifischen Oberflächenwiderstandes, **Tabelle 5**.

Tabelle 5: Modifizierung verschiedener strahlenhärtender BF mit th-rGO (Aushärtung mittels Hg-Mitteldrucklampe - N_2 -Atmosphäre; UV-Dosis 850 mJ/cm^2 , Vorschub $2 \times 20 \text{ m/min}$)

BF/th-rGO	Mischungsverhältnis BF:th-rGO [%]	Spezifischer Oberflächenwiderstand R_s [Ω]
C-2/th-rGO	100:0	8,8E+12
	75:25	1,6E+11
	50:50	1,9E+09
C-3/th-rGO	100:0	8,1E+12
	67,5:32,5	9,5E+09
	50:50	2,0E+09
C-12/th-rGO	100:0	8,6E+12
	75:25	1,6E+11
	50:50	1,9E+09

Es zeigt sich, dass für alle betrachteten Beschichtungsstoffe der initiale spez. Oberflächenwiderstand von ca. $10^{12} \Omega$ durch Zugabe einer th-rGO Dispersion schrittweise gesenkt werden kann. Durch eine gezielte Steigerung des Anteils der th-rGO-Dispersion in der modifizierten Beschichtungsformulierung sinkt R_s um mehrere Zehnerpotenzen bis in den Bereich $10^9 \Omega$. Dies entspricht einem Wert, ab dem antistatisches Verhalten der modifizierten Beschichtungsformulierungen erwartet wird.

Zur Charakterisierung der Oberflächeneigenschaften sowie der elektrostatischen Kenngrößen der synthetisierten Additive und der daraus hergestellten modifizierten Beschichtungen wurden diese auf ausgewählten Substraten appliziert und strahlengehärtet. Dabei ist zu beobachten, dass die Zugabe von th-rGO die Aufladespannung der Beschichtungen signifikant bis in den Grenzbereich von 2kV erniedrigt, womit die antistatische Wirkung des th-rGO belegt ist. Diese Beschichtungen zeichnen sich zudem durch gute Gebrauchseigenschaften aus. Allerdings ist eine Übertragung in die industrielle Fertigung fraglich. Obwohl die Transparenz der Funktionsmuster durch die Modifizierung nur geringfügig herabgesetzt wird ($< 10\%$), zeigen die Funktionsmuster eine deutliche Graufärbung, die einem Praxiseinsatz zumindest bei hellen Untergründen entgegensteht.

Parallel durchgeführte Untersuchungen zu Substitution von th-rGO durch verschiedene kommerzielle graphenähnliche Materialien, zeigen keine Effekte bezüglich der Verbesserung der elektrostatischen Kenngrößen.

3. Antistatische Additive auf Basis von PEGDA

In einem parallelen Lösungsansatz wurde der Einsatz von PEGDA als elektrostatisch ableitend wirkendes Additiv untersucht. Dafür kamen verschiedene PEGDA mit unterschiedlicher Kettenlänge bzw. Molmasse zum Einsatz, Tabelle 6.

Tabelle 6: Vergleich der spezifischen Widerstände von PEGDA-Schichten auf PVC1 (Aushärtung Hg-Mitteldrucklampe - N₂-Atmosphäre; UV-Dosis 850 mJ/cm², Vorschub 2 × 20 m/min)

PEGDA	Kettenlänge „n“	Molekulargewicht (theor.)	spezifischer Widerstand [Ω]
A-7	4	286	2.5E+12
A-8	9	506	5.9E+10
A-9	13	682	1.0E+10
A-10	13	682	5.2E+10
A-5	13	682	2.0E+08

Für die Additive A-7 bis A-9 zeigt sich, dass der spezifische Widerstand von ausgehärteten PEGDA-Schichten mit zunehmender Kettenlänge um mehr als zwei Zehnerpotenzen sinkt und damit in den Grenzbereich (10⁹ Ω) für ableitend wirkende Beschichtungen. Zwischen Kettenlänge n=9 und n=13 ist dieser Effekt aber nicht mehr ausgeprägt, nur bei einem Produkt (A-5) sinkt der spezifische Widerstand nochmal signifikant um 2 Zehnerpotenzen. Beim Vergleich verschiedener Additive mit einer Kettenlänge n=13 wird deutlich, dass Unterschiede im spezifischen Widerstand eher in der Herkunft und damit dem Reinheitsgrad des Materials begründet sind. Ein positiver Einfluss der mittleren Kettenlänge auf die elektrostatischen Eigenschaften der Additive A-5 bis A-10 ist somit ausgeschlossen. Basierend auf dieser Erkenntnis, wurden allein das PEGDA A-5 und seine thermisch modifizierte Variante A-6 für die antistatische Ausrüstung von Substraten verwendet. Mögliche Ursachen für die Verringerung von R_s im Produkt A-5 wurden parallel auf analytischem Weg ermittelt. Chemische Analysen an den verschiedenen PEGDA lassen erkennen, dass das PEGDA A-5 gegenüber den anderen Produkten erhöhte Schwefel- und Phosphor-Gehalte aufweist.

Von verschiedenen Beschichtungsformulierungen mit dem Zusatz von PEGDA A-5 wurden Funktionsmuster angefertigt und hinsichtlich ihrer elektrostatischen Kenngrößen charakterisiert, Tabelle 7.

Tabelle 7: Vergleich ausgewählter Basisformulierungen mit und ohne Zusatz von A-5 (Aushärtung Hg-Mitteldrucklampe - N₂-Atmosphäre; UV-Dosis 850 mJ/cm², Vorschub 2 × 20 m/min)

Muster / Kürzel	Anteil Basisformulierung [Masse %]	Anteil A-5 [Masse %]	Spezifischer Widerstand [Ω]	Aufladespannung U _A [kV]	Personenspannung U _P [kV]
C-2	100	-	2,4E+11	3,9	6,6
C-2/A-5	50	50	4,7E+10	2,3	3,3
C-3	100	-	1,5E+11	4,2	6,6
C-3/A-5	50	50	5,2E+10	1,3	2,5
C-12	100	-	6,3E+11	3,1	5,7
C-12/A-5	50	50	14,7E+9	1	0,8

Ausgehend von der Aufladespannung werden für die Formulierungen ohne Additiv generell Messwerte > 3 kV festgestellt, wobei es zwischen den einzelnen Basisformulierungen auch erwartete Unterschiede gibt. Durch die Zugabe des Antistatik-Additives wird die Aufladespannung der Beschichtung deutlich gesenkt und fällt in zwei Fällen unter den Grenzwert von 2 kV. Vergleichbare Tendenzen zeigen die Messungen der Personenspannung. Auch hier sinkt der Messwert in allen drei Formulierungen durch Zugabe des Additives deutlich ab. Der Grenzwert wird allerdings nur in einem Fall unterschritten.

Anhand dieser Ergebnisse wurden mit der Formulierung C-2/A-5 Beschichtungen auf einem homogenen PVC-Belag sowie einem direkt bedruckten Laminat hergestellt und die Kennwerte bestimmt, Tabelle 8.

Tabelle 8: Charakterisierung der Beschichtungen mit C-2/A-5 auf homogenem PVC-Belag (PVC-7) und direktbedrucktem Laminat (L-2)

Muster / Kürzel	Beschichtung im Ausgangszustand	
	R_s [Ω]	U_A [kV]
L-2/C-2	$(2,6 \pm 0,4) E+12$	$10,7 \pm 0,1$
L-2/C-2/A-5	$(1,3 \pm 0,1) E+12$	$10,6 \pm 0,2$
PVC-7/C-2	$(3,6 \pm 0,8) E+12$	$5,5 \pm 0,2$
PVC-7/C-2/A-5	$(7,7 \pm 1,4) E+12$	$5,4 \pm 0,1$

Auf kommerziellen Bodenbelägen werden die elektrostatischen Kennwerte der Funktionsmuster nicht reproduziert. Die Beschichtungen auf den Bodenbelägen zeichnen sich durch eine akzeptable Gebrauchstauglichkeit aus und sind gegenüber Pflegemaßnahmen beständig. Allerdings liegen die elektrostatischen Kennwerte weit über den geforderten Zielparametern und zeigen im direkten Vergleich zum nicht modifizierten Beschichtungsstoff keine Veränderung durch den Zusatz des Additives A-5. Ein genereller antistatischer Effekt von Additiven auf Basis von PEGDA wird dadurch nicht bestätigt.

4. Antistatische Additive auf Basis Sulfonsäure-haltiger Zusätze

Bei den chemischen Analysen der einzelnen PEGDA wurde festgestellt, dass vor allem ein PEGDA mit einem signifikant erhöhten Schwefelgehalt positive antistatische Wirkung erzielt. Darauf aufbauend wurde untersucht, inwieweit dieser Effekt durch Sulfonsäure-haltige Inhaltsstoffe bewirkt wird. Additiv-Mischungen von PEGDA mit Toluolsulfonsäure zeigen deutlich verringerte spezifische Oberflächenwiderstände und Aufladespannungen. Allerdings fehlt diesen Beschichtungen die notwendige Gebrauchstauglichkeit, die einen Einsatz auf Bodenbelägen ohne weitere Entwicklungsarbeiten bislang verhindert. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Entwicklung von Monomeren mit kovalent angebondenen Sulfonsäure-haltigen Seitenketten hohes Potential für antistatische Beschichtungen besitzen würde.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben IGF 19771 BR der AiF-Forschungsvereinigung Trägerverein Institut für Holztechnologie Dresden e.V. (TIHD) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Wir bedanken uns bei den beteiligten Firmen der Lack-, Bodenbelags- und Zulieferindustrie für die aktive Unterstützung des Forschungsvorhabens.

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:

Trägerverein Institut für Holztechnologie Dresden e.V.
Zellescher Weg 24
01217 Dresden