

## **FLEXIBLE, TRANSPARENTE, ELEKTRISCH LEITFÄHIGE POLYURETHANSCHICHTEN**

BMWK INNO-KOM 49MF200117 | Laufzeit: 02.2021 – 01.2023 | Minoj Gnanaseelan, Kristin Trommer, FILK Freiberg

Categories: Funktionale Schichtsysteme Technische Textilien/Composite

---

### **AUSGANGSSITUATION**

Aufgrund der besonderen Eigenschaften intrinsisch leitfähiger Polymere (ICP) weisen diese in stark wachsenden technologischen Bereichen wie z. B. der Fertigung von OLEDs, Solarzellen, organischen Transistoren, thermoelektrischen Generatoren, Batterien, Superkondensatoren und Sensoren ein hohes Anwendungspotential auf. Im Gegensatz zu extrinsisch leitfähigen, auf Carbonbasis beruhenden Polymermaterialien weisen die ICP eine sehr hohe spezifische Leitfähigkeit bei gleichzeitiger Transparenz auf. Der wesentliche Nachteil intrinsisch leitender Polymere ist deren Sprödigkeit, die auf die starre 5- oder 6-gliedrige Ringstruktur zurückzuführen ist. Aus solchen Polymeren aufgebaute Schichten sind nicht stabil gegenüber mechanischen Belastungen wie Zug oder Biegung. Sie bilden Risse oder zerbrechen. Aus diesem Grund können die vorteilhaften Eigenschaften wie hohe Leitfähigkeit und Transluzenz der ICP nicht für Anwendungen genutzt werden, die ein hohes Maß an Flexibilität voraussetzen. Gelingt es, eine flexible Polymerschicht auf Basis von PEDOT:PSS zu entwickeln, wäre diese nicht nur hoch leitfähig, sondern auch transparent bzw. individuell einfärbbar. Die Kombination aus Flexibilität, Transparenz und elektrischer Leitfähigkeit hat hohes Anwendungspotential.

### **PROJEKTZIEL**

Ziel des Projektes war es, die für viele Einsatzbereiche vorteilhafte hohe elektrische Leitfähigkeit und Transparenz des Polymersystems PEDOT:PSS mit der Flexibilität und Drapierfähigkeit von Polyurethan zu kombinieren. Um dies zu erreichen, sollten wässrige Dispersionen von PEDOT:PSS und Polyurethan in einer Weise kombiniert werden, dass flexible, elektrisch hochleitfähige Polymerschichten resultieren, die eine hohe Transparenz aufweisen.

## LÖSUNGSWEG

Im ersten Schritt wurde der Anteil PEDOT:PSS ohne und in Kombination mit Ethylenglykol als Synergist in einer PU-Dispersion untersucht. Die Perkolationskurve zeigte, dass hohe spezifische Leitfähigkeiten von bis zu 63 S/cm bei einem Gehalt von 10 % PEDOT:PSS, bis ca. 128 S/cm bei 20 % PEDOT:PSS und bis ca. 704 S/cm für 70 % PEDOT:PSS erreicht werden können. Weitere Bestandteile wie Verlaufadditive, Vernetzer und Verdicker beeinflussen die spez. Leitfähigkeit und wurden deshalb so auf das System abgestimmt, dass eine höchstmögliche Leitfähigkeit resultiert. Es wurde eine finale Grundrezeptur erarbeitet, in die mittels gängiger Rührtechnik unterschiedliche Mengen an PEDOT:PSS eingearbeitet werden können.

## ERGEBNISSE | NUTZEN

Im Rahmen der Projektarbeiten ist es gelungen, PU/PEDOT:PSS-Formulierungen zu entwickeln, aus denen flexible, elektrisch leitfähige Schichten hergestellt werden konnten. Die Dispersionen waren nach entsprechender Optimierung der Viskosität durch Zugabe von Verdickern im Streich- als auch Tiefdruckprozess verarbeitbar. Dies ermöglichte es, den Einfluss jedes Rezepturbestandteils auf die elektrische Leitfähigkeit der daraus hergestellten Schichten systematisch zu untersuchen.

Abhängig von den Rezepturbestandteilen ist bereits ein niedriger Gehalt ab 0,1% an PEDOT:PSS ausreichend, um die spez. Leitfähigkeit der PU-Referenz um eine Zehnerpotenz zu erhöhen. Rezepturen mit einem Anteil an PEDOT:PSS von bis zu 0,5 % sind für eine Antistatikausrüstung geeignet. Werden diese als dünne Lackschicht von wenigen Mikrometern (ca. 5  $\mu\text{m}$ ) Dicke appliziert, ist die Schicht flexibel, dehnbar und transparent. Auf weißen Kunstledern lag die Differenz der Helligkeitswerte  $<1,4\%$  (0,1% PEDOT:PSS) und  $<5\%$  (0,5 % PEDOT:PSS). Die Abweichungen der Farbwerte von der Referenz für  $\Delta b$  lagen  $<1$  für 0,1% PEDOT:PSS und  $<2,2$  für 0,5 % PEDOT:PSS, für  $\Delta a$  wurden Abweichungen nur für 0,5 % PEDOT:PSS mit  $<0,4$  gemessen. Mit zunehmender Schichtdicke sinkt die Transparenz und die Farbabweichung von  $\Delta b$  nimmt zu. Allerdings liegt die Transparenz für eine 50  $\mu\text{m}$  dicke Schicht mit 0,5 % PEDOT:PSS immer noch bei 70 %. Bereits der Zusatz von 1,5 – 2 % PEDOT:PSS in PU-Dispersionen führt zu Schichten mit einer hohen spez. Leitfähigkeit zwischen 1 – 5,7 S/cm, die geeignet für eine elektrisch induzierte Heizschicht ist. Die Transparenz liegt bei  $>48\%$ . Im Vergleich zu CNT als leitfähiges Additiv ist das eine sehr gute Performance. Für CNT ohne Synergist müssen ca. 6 – 7 % für eine maximal erreichbare spez. Leitfähigkeit von ca. 1 S/m in die Schicht eingebracht werden. Diese Schichten sind dann immer schwarz und nicht transparent. Weiterhin vorteilhaft ist die niedrige Viskosität der neu entwickelten PU/PEDOT:PSS-Dispersionen. Sie ermöglicht den Einsatz der Dispersionen mit unterschiedlicher Leitfähigkeit in Druckprozessen, mit deren Hilfe bspw. Leiterbahnen und Sensoren gedruckt werden können.

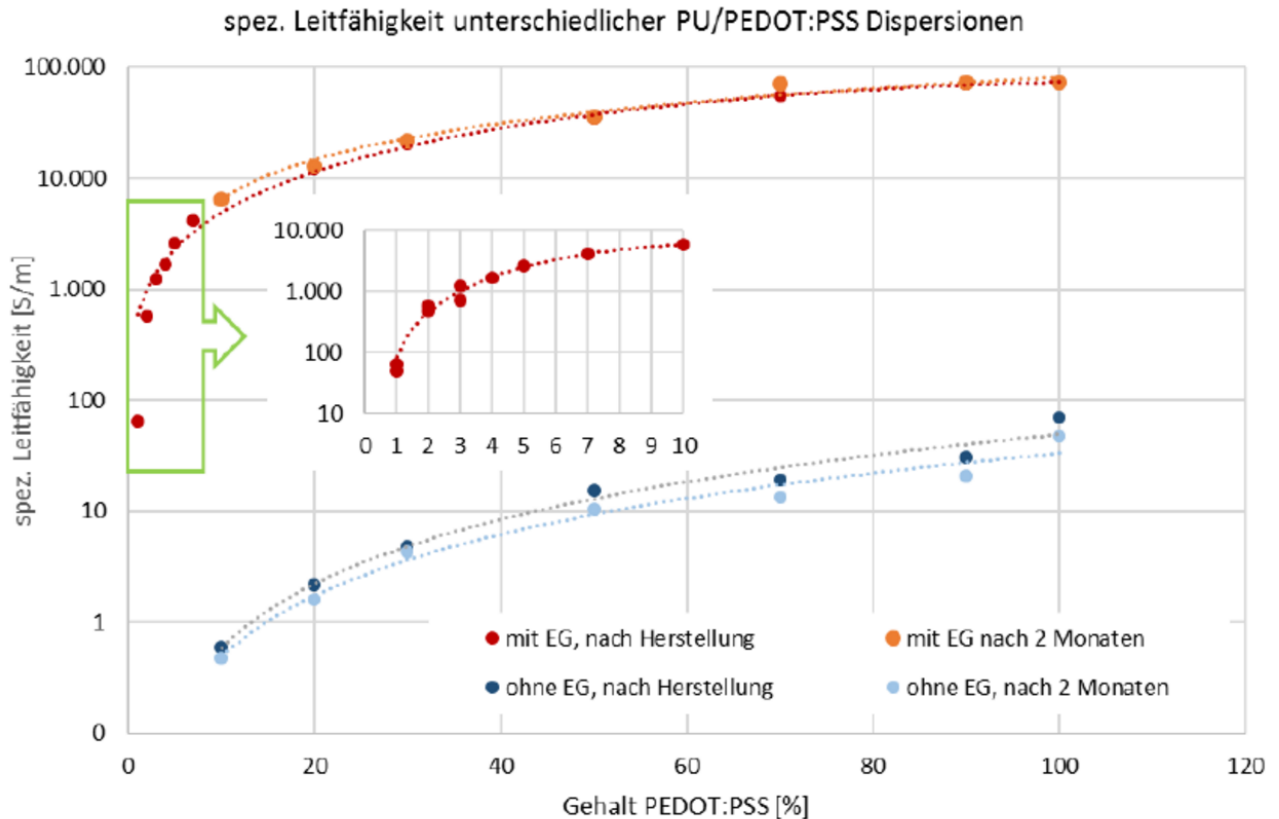


Abb. 1: Darstellung der spezifischen Leitfähigkeit von PU/PEDOT:PSS-Schichten mit unterschiedlichen PEDOT:PSS-Gehalten; rote Kurven mit, blaue Kurven ohne Ethylenglykol (EG)

Durch die Integration der aus solchen PU/PEDOT:PSS-Dispersionen hergestellten dünnen elektrisch leitfähigen Schichten in flexible Verbundwerkstoffe ergeben sich neue Innovationen, insbesondere für die Bereiche:

- antistatische Verbundmaterialien
- beheizbare Verbundmaterialien
- gedruckte Sensorik

Es konnte gezeigt werden, dass PU/PEDOT:PSS-Schichten mit einem Gehalt an PEDOT:PSS bis zu 10 % eine hohe Flexibilität und eine Dehnbarkeit >100 % aufweisen. Damit wurde die Zielstellung des Projektes, die für viele Einsatzbereiche vorteilhafte hohe elektrische Leitfähigkeit und Transparenz des Polymersystems PEDOT:PSS mit der Flexibilität und Drapierfähigkeit von Polyurethan zu kombinieren, erfüllt.

**Bericht anfragen**



## DANK

Das Forschungsvorhaben „Flexible, transparente, elektrisch leitfähige PU-Schichten“, Reg.-Nr.: 49MF200117 wurde anteilig vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages innerhalb des Förderprogramms „FuE-Förderung gemeinnütziger

externer Industrieforschungseinrichtungen – Innovationskompetenz (INNO-KOM) – Modul Marktorientierte Forschung und Entwicklung (MF)“ über den Projektträger EuroNorm GmbH gefördert. Wir bedanken uns für die gewährte Unterstützung.

Gefördert durch:



**INNO-KOM**

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages