

# adhäsion

KLEBEN+  
DICHTEN

Das Fachmagazin für industrielle Kleb- und Dichttechnik

## Marktübersicht

Die Hersteller von  
2K-Dosieranlagen

## Anwendungen

Klebertechnologien in der  
industriellen Fertigung

## Aus Forschung und Entwicklung

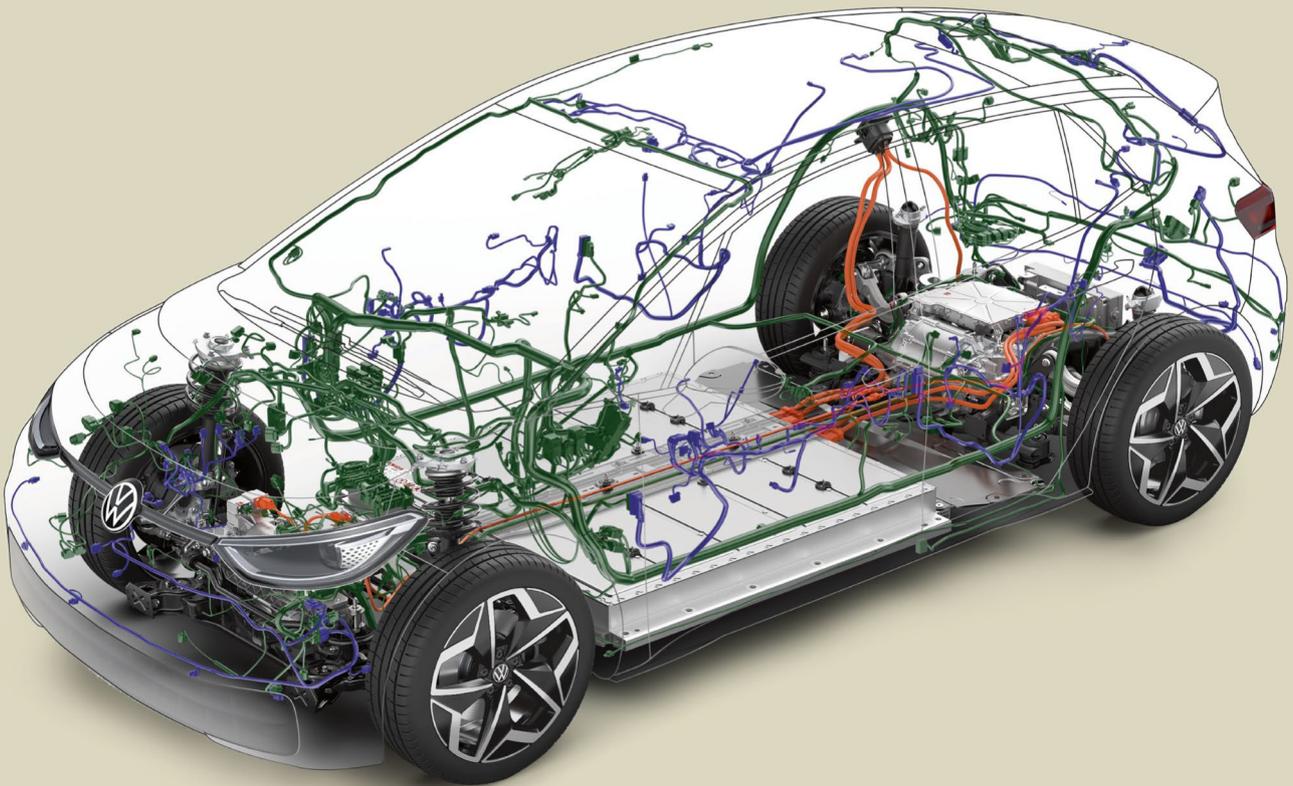
Einfluss von Klebstoffen auf die  
Tragfähigkeit von Hybridverbindungen

Klebertechnik im Automobilbau

## Klebstoffe unterstützen die nachhaltige Fertigung



# Titel



# Neuer Ansatz im Bordnetz: additive Herstellung elektrischer Verbindungen

Mit zunehmender Digitalisierung der Kraftfahrzeuge erlangt das Bordnetz eine zentrale Rolle in der Fahrzeugwelt. Ihre Varianz und Komplexität steigen dabei rasant. Für die Herstellung der Leitungsstränge werden neue Methoden und Ansätze erarbeitet, mit denen diese Herausforderungen auch im Produktionsprozess beherrschbar werden. Das branchenweite Ziel ist es, die Bordnetzfertigung fortschreitend zu automatisieren. Eine aktuelle Entwicklung folgt dem Ansatz des funktionsintegrierten Multimaterial-Einsatzes.

Nico Lorenz, Ralph Mayer, Marko Reichelt, Eike Leipold

Der Einsatz elektrisch leitfähiger Polymere zur additiven Herstellung elektrischer Verbindungen im Fahrzeugbordnetz wurde anhand verschiedener Thesen untersucht. Geeignete elektrische Eigenschaften konnten bereits verifiziert werden. Mit der weiterführenden Forschungsarbeit sollen die Fragestellungen beantwortet werden, ob elektrisch leitfähige Polymere auch den mechanischen Anforderungen entsprechen können, welche der Einsatz in einem Fahrzeugbordnetz mit sich bringt, und ob eine automatisierbare Verarbeitung realisierbar ist.

Dazu wurde seitens Volkswagen untersucht, welche mechanische Festigkeit additiv hergestellte elektrische Verbindungen erzielen können und welche Möglichkeiten sich hinsichtlich der Automatisierung daraus ergeben. Als Referenz der Untersuchung dienen konventionelle Crimpverbindungen aus dem Niedervoltbordnetz.

Die quantitative Auswertung der erzeugten Messergebnisse zeigt ein erhebliches Potential zur Herstellung mechanisch be-

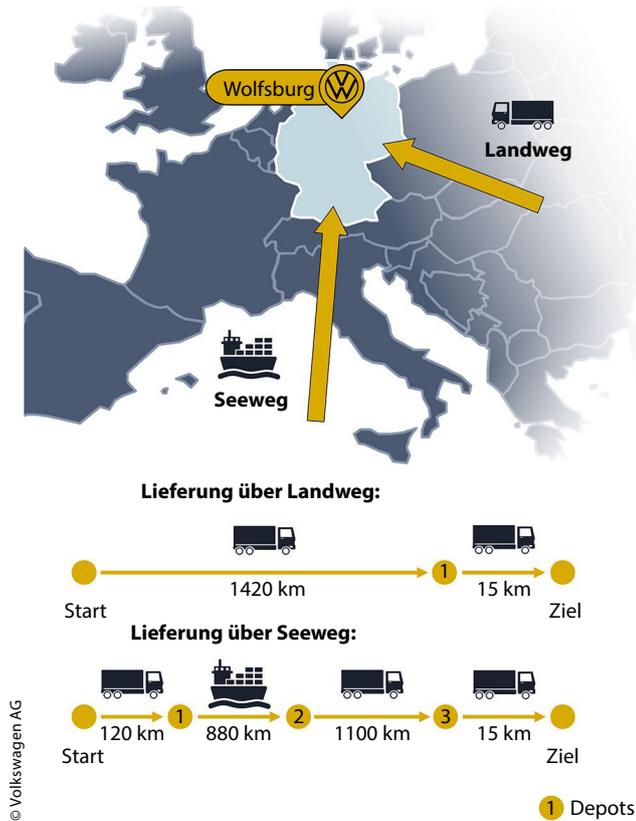
lastbarer Verbindungen mit elektrisch leitfähigen Polymeren. Hinsichtlich der Entwicklung neuer Automatisierungslösungen profitiert die Bordnetzfertigung mit dem Einsatz leitfähiger Polymere von neuen Freiheitsgraden in der Bordnetzgestaltung und von den Möglichkeiten der additiven Verarbeitung.

## **Neue Ansätze der Bordnetzautomatisierung<sup>1</sup>**

Das Bordnetz bildet im Kraftfahrzeug die Gesamtheit aller elektrischen Verbindungen, welche zur Übertragung elektrischer Energie und elektrischer Signale benötigt werden. Dementsprechend reicht das Bordnetz bis in alle Bereiche eines modernen Fahrzeugs. Die Entwicklungstrends bewirken eine stetige Zunahme anzuschließender Komponenten, welche mit elektrischer Energie und Signalen versorgt werden müssen. Die fortschreitende Entwicklung assistierter Fahrfunktionen bewirkt beispielsweise eine erhebliche Zunahme von verbau-

ter Sensorik im Fahrzeug. Die erzeugten Signale sind schnell und robust an die Datenempfänger im Fahrzeug zu übertragen. Das umfangreiche Angebot von Komfortfunktionen und die Elektrifizierung der Fahrzeugantriebe sind Beispiele für den Zuwachs von Verbrauchern elektrischer Energie im Fahrzeug, welche über das Fahrzeugbordnetz verteilt wird. Unterschiedliche Spannungslagen und ein breites Spektrum zu übertragender Signale haben großen Einfluss auf die Gestaltung des Bordnetzes und erzeugen ein komplexes Produkt mit einer vielfältigen Geometrie und Ausstattung. Die Abhängigkeit von der Fahrzeugausstattung wird im Bordnetz mit der Erstellung des kundenspezifischen Kabelstranges (kurz KSK) umgesetzt. Die Herstellung eines jeden Fahrzeugbordnetzes entspricht demnach genau der Ausstattung des jeweils gebauten einzelnen Fahrzeugs, woraus sich eine maximale Produktindividualität in der Bordnetzfertigung ergibt. Die Fertigung der Fahrzeugbordnetze und der Einsatz in-

<sup>1</sup> Beitrag der Volkswagen AG



**Bild 1** Lieferkette von Bordnetzen für den europäischen Fahrzeugbau

novativer Ansätze zur Bordnetzautomatisierung steht deswegen im Fokus der Entwicklung.

Die Überwachung automatisierter Fertigungsprozesse ermöglicht eine Rückverfolgbarkeit der Bordnetzfertigung auf Einzelteilebene, was als grundlegend für den fortschreitenden Einsatz automatisierter Fahrfunktionen gilt. Ein weiterer Vorteil liegt in den gleichbleibenden Prozessparametern der automatisierten Fertigung und einer erzielbaren Fertigungsgenauigkeit, welche mit einer konventionellen manuellen Fertigung nicht möglich ist. Die konventionelle Bordnetzfertigung erfolgt auf Grund des hohen manuellen Fertigungsanteils meist in Niedriglohnländern. Die sich daraus ergebende, aufwendige Distributionslogistik ist in *Bild 1* dargestellt. Die Realisierung des wirtschaftlichen Betriebs von automatisierten Bordnetzfertigungen an OEM-nahen Standorten schafft die Möglichkeit, hohe Logistikaufwendungen und die damit verbundenen Emissionen entlang der Lieferkette zu reduzieren [1]. Für eine weitreichende Automatisierung der Bordnetzfertigung müssen die umfassenden gegenseitigen Einflüsse der Bordnetzentwicklung, Bordnetzfertigung

sowie Entwicklung und Fertigung von Bordnetzkomponenten bereits in einer frühen Phase des Produktentstehungsprozesses aufeinander abgestimmt werden. Das Gestalten einer automatisierten Fertigung für ein bereits fertig entwickeltes Bordnetz ist nicht möglich, denn die Komplexität der konventionellen Fahrzeugbordnetze erfordert eine zu hohe Vielfalt in den Fertigungsabläufen. Eine weitreichende Automatisierung der Bordnetzfertigung stellt die Frage voran, wie ein Bordnetz zukünftig aussehen muss, damit es automatisiert gefertigt werden kann.

**Der Funktionsintegrierte Multimaterial-Einsatz<sup>1</sup>**

Die Verwendung neuer Materialien schafft die Grundlage für den Einsatz neuer Fertigungstechnologien im Herstellungsprozess der Fahrzeugbordnetze und ergänzt die Bemühungen zur Standardisierung von Fertigungsverfahren und zur Reduzierung der Bauteilvarianz, welche im Entwurf der E DIN 72036:2021-11 veröffentlicht wurden [2]. Der Ansatz des Funktionsintegrierten Multimaterial-Einsatzes (kurz FIM) rückt hierbei das

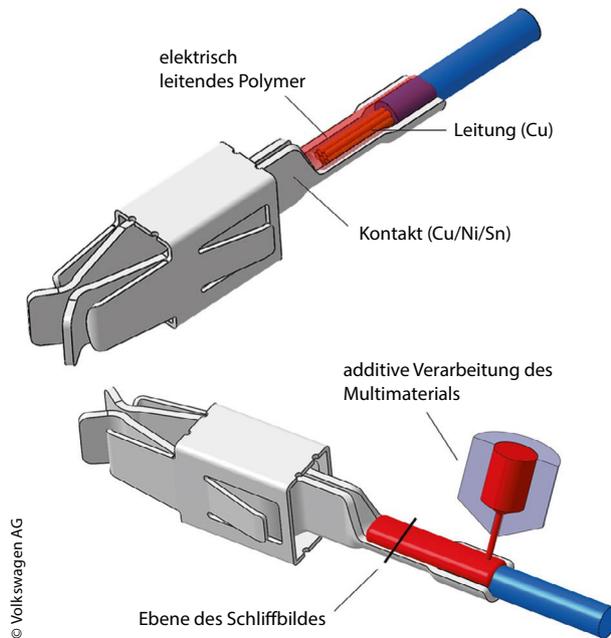
Potential elektrisch leitfähiger Polymere in den Fokus. Kunststoffe finden seit jeher im Bordnetz eine breite Anwendung, beispielsweise im Schutz der elektrischen Leitungen oder bei der Montage des Gesamtbordnetzes im Fahrzeug. Die Vorteile der Polymere liegen in den Freiheitsgraden der Bauteilgestaltung und den mechanischen Eigenschaften des Materials. Darüber hinaus sind Kunststoffe prädestiniert für den Einsatz von additiven Verfahren zur Automatisierung der Fertigungsabläufe. Der FIM-Ansatz kombiniert diese Vorteile mit der Möglichkeit, Polymere elektrisch leitfähig auszurüsten. Als erzielbare spezifische elektrische Leitfähigkeit von Polymeren wurde im Rahmen der Untersuchung des FIM-Ansatzes ein Wert von 9,75 MS/m ermittelt. Zum Einsatz kommen hierbei Polymere, welche mit Silberpartikeln als Füllstoff ausgerüstet wurden. Im Ergebnis sagt die Leitfähigkeitsuntersuchung aus, dass Polymere so ausgerüstet werden können, dass sie den Bordnetzanforderungen hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit gerecht werden. Als Einschränkung wird ergänzt, dass leitfähige Polymere bevorzugt als Material elektrischer Verbindungen oder als Leitermaterial auf kurzen Strecken Potential zeigen. Begründet wird dieses Ergebnis mit dem entstehenden ohmschen Widerstand. Die erzielbare elektrische Leitfähigkeit der Polymere liegt über der von Zinn (Sn: 9.090.000 S/m [3]), einem Material welches häufig in elektrischen Verbindungen der Fahrzeugbordnetze eingesetzt wird. Kupfer (Cu: 58.100.000 S/m [3]) und Aluminium (Al: 37.700.000 S/m [3]) als typische Materialien der elektrischen Leitungen zeigen höhere elektrische Leitfähigkeiten. Der mögliche Einsatz von leitfähigen Polymeren in den elektrischen Verbindungen ermöglicht neue Freiheitsgrade in der Gestaltung der Fahrzeugbordnetze. Die Vorteile liegen beispielsweise in der Möglichkeit des automatisierten, additiven Materialauftrags. Material-Extrusions-Verfahren, Jetting-Verfahren oder der Einsatz von kontaktlosen Mikrodosiersystemen sind zum Auftrag der Polymere geeignet. Die Konstruktion einer exemplarischen Verbindung von einer elektrischen Leitung und einem elektrischen Kontakt ist in *Bild 2* dargestellt und zeigt das Polymer als dosierbares Halbzeug in der Fertigung.

<sup>1</sup> Beitrag der Volkswagen AG

Diesem Ansatz entsprechend entfällt die Bereitstellung von unterschiedlichen Varianten des Kontaktes, welche sich bisher aus der geometrischen Abhängigkeit von Leiterdimension und Kontakt ergeben. Die geometrische Form der Einzelteile als Gestaltungseinfluss entfällt, wodurch die Variantenvielfalt der Halbzeuge reduziert werden kann. Der prototypische Aufbau ist in *Bild 3* dargestellt und zeigt die Umsetzung und bestätigt den konstruktiven Ansatz.

### Potential elektrisch leitfähiger Klebstoffe<sup>2</sup>

Elektrisch leitfähige Polymere resultieren aus meist silbergefüllten Klebstoffen. Ein besonderer Vorteil dieser Klebstoffe ist, dass sie sich flüssig applizieren lassen und nach entsprechender Aushärtung mechanisch stabil sind, sich somit unterschiedlichste Substrate miteinander verbinden lassen und letztendlich eine elek-



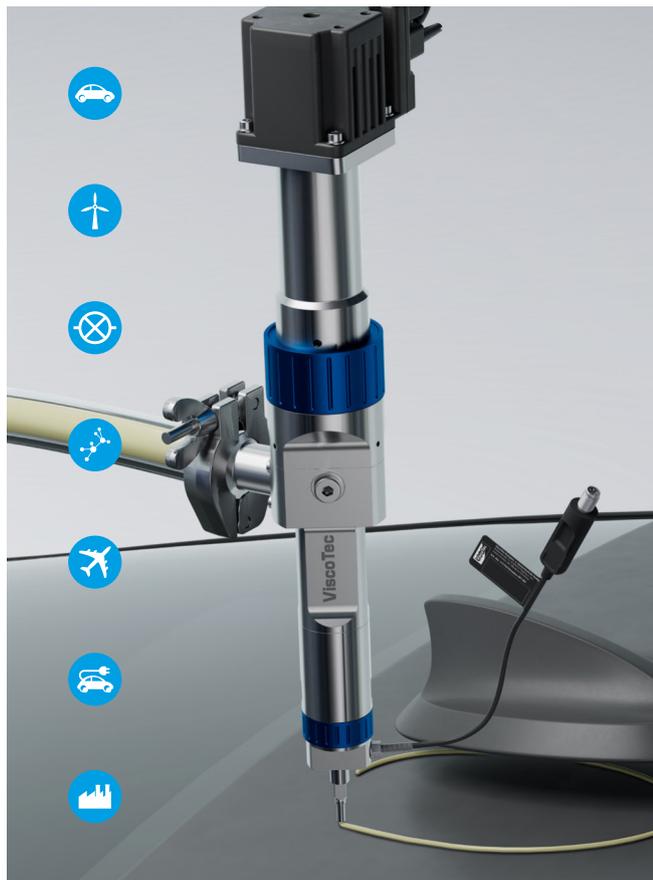
© Volkswagen AG

**Bild 2** Funktionsintegrierter Multi-Material-Einsatz (kurz FIM)

trisch leitfähige Kontaktierung entsteht. Solche Klebstoffe finden sich heutzutage in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen wieder, in denen elektrische

Verbindungen und Kontaktierungen benötigt werden, so zum Beispiel im Bereich der Mikroelektronik und Leiterplattenbestückung, als SMD- und Die-Attach-Kleb-

<sup>2</sup> Beitrag der Panacol-Elosol GmbH





## NEU: VIPRO-PUMP - MEHR FEATURES, MEHR PERFORMANCE

- Intuitive und sichere Montage
- Reduktion des Druckverlusts am Pumpeneinlass
- Steigerung der Dosierqualität durch optimierte Getriebeanbindung
- Bis zu 50 % Reduzierung der Ersatzteilkosten
- Gewappnet für jegliche Anwendungen

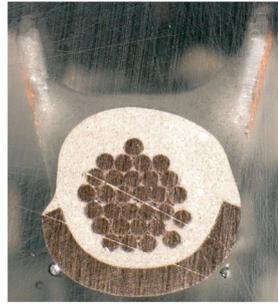
Weiteres Plus: Die Option den Materialausgang mit dem flowplus-SPT M6 Druck- und Temperatursensoren für mehr Prozesssicherheit.



Zum Video.

➤ [www.viscotec.de](http://www.viscotec.de)

© Volkswagen AG



**Bild 3** Prototyp und Schliffbild

stoff, für Smart-Cards und RFID-Chips bis in den Bereich der Photovoltaik zur Zellkontaktierung. Der Vorteil gegenüber herkömmlichen Lötverbindungen liegt auf der Hand: Die Klebstoffe lassen sich bei deutlich niedrigeren Temperaturen aushärten. 2K-Systeme härten bei Raumtemperatur und 1K-Systeme ab circa 80 °C aus. Dadurch verhindern sie thermisch induzierten Stress in den Bauteilen und sparen gleichzeitig Energiekosten. Aufgrund der Füllstoffe und der chemischen Basis sind die Klebstoffe zudem frei von Blei und Lösemitteln. Gegenüber starren Lötverbindungen sind elektrisch leitende Klebeverbindungen deutlich weicher und flexibler und können somit Schwingungen und Vibrationen besser aufnehmen.

Reine, ungefüllte Klebstoffsysteme ohne zusätzliche Leitpartikel sind Isolatoren und weisen in der Regel spezifische elektrische Widerstände im Bereich von  $10^{12}$  bis  $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$  auf. Werden diesen Systemen Metallpartikel zugesetzt, dann lassen sich die Widerstände auf Werte von  $10^{-3}$  bis  $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  absenken. Somit steigt die elektrische Leitfähigkeit durch den gezielten Einsatz von elektrisch leitfähigen Partikeln. Bei den Füllstoffen handelt es sich meist um Metallplättchen wie zum Beispiel Silber-Flakes, die eine charakteristische Partikelgrößenverteilungen haben. Die Leitfähigkeit eines Klebstoffsystems ist von drei entscheidenden Faktoren abhängig, die im Folgenden erläutert werden.

**Füllgrad<sup>2</sup>**

Generell gilt: je höher der Füllgrad, desto höher die resultierende elektrische Leitfähigkeit. Um überhaupt eine elektrische Leitfähigkeit zu realisieren, muss ein gewisser Füllgrad erreicht werden, das ist die Perkolationsschwelle. Ist der Füllgrad zu gering, kommt es zu keinem Kontakt

zwischen den leitfähigen Partikeln innerhalb der Polymermatrix. Wird jedoch der Anteil X der Füllpartikel erhöht, dann steigt die Leitfähigkeit rasant an, bis ein Maximum erreicht wird. Es wird also ein perfektes Verhältnis zwischen Harzmatrix und Anzahl von Leitpartikeln benötigt.

**Form und Größenverteilung der Füllpartikel<sup>2</sup>**

Die Partikelgrößenverteilung der Silberfüllstoffe beeinflusst direkt die elektrische Leitfähigkeit und damit den elektrischen Widerstand eines Systems. Bei zwei identischen Harzsystemen, die mit dem gleichen Gewichtsprozent an Silber gefüllt wurden, allerdings in der Größenverteilung variieren, können unterschiedliche spezifische Widerstände gemessen werden. Umso mehr Kontaktpunkte in dem leitfähigen Klebstoffsystem zustande kommen, desto besser wird die Leitfähigkeit im Klebstoffsystem und der spezifische Widerstand sinkt. Darüber hinaus bestimmt die Partikelgrößenverteilung maßgeblich das Fließverhalten des noch nicht ausgehärteten Klebstoffes. Ob ein Klebstoff gut fließfähig oder schon pastös ist, hängt auch von der Wahl der richtigen Partikel ab.

**Übergangswiderstände zwischen den Metallpartikeln<sup>2</sup>**

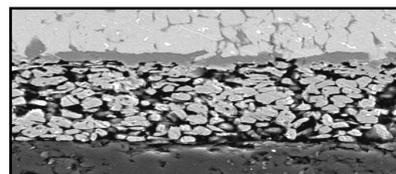
Die Summe der einzelnen Übergangswiderstände zwischen den Kontaktpunkten

im Klebstoffsystem bestimmt die Gesamtleitfähigkeit. Widerstandserhöhungen können beispielsweise durch nicht vollständig umgesetzte Harzreste im Klebstoff oder Verunreinigungen im metallischen Füllstoff (Oxidschichten) entstehen. Aus diesem Grund wird häufig ein Edelmetall wie Silber als Füllstoff eingesetzt, da die Silberoxidschicht wegen der immer noch guten Leitfähigkeit zu vernachlässigen ist. Letztendlich muss der Strom von Substrat 1 durch die leitfähige Klebstoffmatrix bis hin zum Substrat 2 fließen. Dabei trifft der Stromfluss immer wieder auf oben genannte Widerstände, die passiert werden müssen. Diese „Hürden“ beeinflussen den spezifischen Widerstand.

Bild 4 zeigt die horizontale Verteilung der Silberflakes in der Harzmatrix. Bei angelegtem Strom muss dieser die oben genannten Widerstände durchdringen. Dabei sind Füllpartikel, Größenverteilung und Füllgrad entscheidend für die Anzahl der Kontaktpunkte.

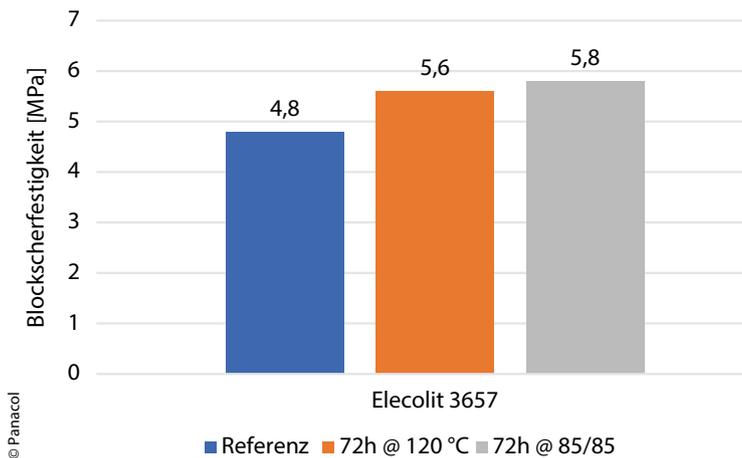
**Klebstoffaushärtung und Haftfestigkeit<sup>2</sup>**

Ein weiterer Aspekt, der einen maßgeblichen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Klebstoffs hat, ist die Aushärtung. Eine gleichmäßige Aushärtung des Epoxidharzes verhindert Spannungen in der Matrix und somit auch Widerstandsänderungen in der Klebschicht. Die thermische Aushärtung des Klebstoffes bewirkt eine Vernetzung des Basispolymers, bei der die Metallpartikel eingebettet werden. Im Falle einer unzureichenden Aushärtung, beispielsweise durch zu kurze Aushärtezeiten oder zu niedrige Aushärtetemperaturen, ist das Basispolymer infolge eines zu geringen Vernetzungsgrades zu weich und kann Verschiebungen der metallischen Füllstoffe durch äußere mechanische Einflüsse zur Folge haben. Einkomponentige Klebstoffsysteme benötigen Temperaturen von etwa 80 °C bis zu 180 °C zur Härtung. Für die Aushärtung



**Bild 4** Schnittbild eines silbergefüllten Epoxidharzes zwischen zwei Substraten

<sup>2</sup> Beitrag der Panacol-Elosol GmbH



**Bild 5** Alterung eines hochgefüllten 1K-Epoxydharz

wurden verschiedene Härterssysteme (kationisch oder aminisch) bei unterschiedlichen Temperaturen getestet. Hierbei konnte auch eine Abhängigkeit vom gewählten Härterssystem auf die spätere Leitfähigkeit festgestellt werden.

Es wurde beobachtet, dass sich Haftfestig- und Leitfähigkeit der elektrisch leitfähigen Epoxydharzsysteme durch erhöhte Temperatur und längere Aushärtezeiten verbessern. Der Grund dafür liegt darin, dass höhere Temperaturen zu einem besseren Verbund zwischen Klebstoff und Substraten führen. Dies verdeutlicht auch ein Alterungstest eines hochgefüllten 1K-Epoxydharzklebstoffs, dessen Haftfestigkeit durch Temperaturauslagerung zunimmt. Nach reiner Temperaturauslagerung und unter ei-

nem 85 °C sowie 85 % Luftfeuchtigkeits-test konnten die adhäsiven Eigenschaften um mehr als 10 bis 15 % zunehmen. Eine Schwächung des Klebstoffes durch Feuchtigkeitsaufnahme fand nicht statt, da die sehr medienbeständigen und hochvernetzenden Epoxydharzklebstoffe nur einen geringen Anteil von Feuchtigkeit aufnehmen. Die Ergebnisse sind in *Bild 5* dargestellt.

Die Applikation hochgefüllter Leitklebstoffe ist unter der Berücksichtigung einiger Randbedingungen prozesssicher und reproduzierbar umsetzbar. Bei der Verarbeitung von elektrisch leitfähigen Klebstoffen ist darauf zu achten, dass die Silberleitpartikel aufgrund der deutlich höheren Dichte im Vergleich zum Epoxydharz zur Sedimentation neigen. Der

Effekt tritt umso stärker auf, je niedrigviskoser das Harz ist. Oft muss das Material daher in Kartuschenform gekühlt beziehungsweise tiefgekühlt gelagert und transportiert werden. Die Verwendungsdauer liegt bei Raumtemperatur im Bereich von Stunden bis Tagen. Offene Gebinde, die stetig homogenisiert werden, können auch bei Raumtemperatur mehrere Wochen verwendet werden. Dies ist bei der Auswahl der Materialbereitstellung- und Förderung zu beachten. Ein weiteres, nicht zu vernachlässigendes Kriterium ist die Abrasivität der Füllstoffe. Diese führen zu einem schnellen Verschleiß der materialführenden Komponenten, besonders im Bereich der hochgenauen Dosierventile. Um dem entgegenzuwirken, werden speziell gehärtete Bauteile im Bereich des Materialkontakts verwendet. Auf Dauer ist die Abnutzung jedoch höher einzuordnen als bei ungefüllten Klebstoffsystemen. Um eine möglichst hohe elektrische Leitfähigkeit zu realisieren, ist bei der Klebstoffapplikation auf einen blasenfreien Auftrag zu achten. Luftpneinschlüsse führen zum Teil zu deutlich schlechteren Leiteigenschaften. Dies ist bereits bei der Materialbereitstellung und Förderung zu beachten. Je nach Prozess und Genauigkeitsanforderung kann das Material beim Kunden direkt aus der Kartusche mittels Dosier-nadel über ein Druck-Zeit-Ventil appliziert werden. In Anwendungen, bei denen die Klebstoffmenge sehr genau dosiert werden muss, kann ein volumetrischer Dispenser wie zum Beispiel ein Schnecken-






**Openair-Plasma® Vorbehandlung für perfekte Ergebnisse  
beim Verkleben oder Abdichten**

[in](#)
[X](#)
[T](#)
[F](#)
[O](#)
[V](#)

[www.plasmamatreat.de](http://www.plasmamatreat.de)




**Bild 6** Automatisierte Dosierung des elektrisch leitfähigen Elecolit 3657



**Bild 7** Eine elektrische Verbindung vor und nach der Dosierung von Elecolit 3657

dosierventil zum Einsatz kommen. Für hochgenaue Mikrodosieranwendungen ist die Applikation mittels Jet-Ventil möglich. Hierbei muss bei der Auswahl auf den Düsendurchmesser geachtet werden – je kleiner die Silberfüllpartikel, umso kleiner kann auch der Düsenquerschnitt gewählt werden. Der Vorteil der Jet-Applikation liegt in der hochgenauen Applikation welche punktförmig, linienförmig oder auch als Mikroverguss umgesetzt werden kann. Der Materialabfall des Silberleitklebstoffs ist zudem aufgrund der Ventilbauform sehr gering, was wiederum zu Kosteneinsparungen führt. Die genannte

Dosiertechnik kann problemlos in hochautomatisierte Fertigungsstrecken integriert werden (*Bild 6* und *Bild 7*).

**Messung der mechanischen Belastbarkeit<sup>1</sup>**

Es war zu verifizieren, ob additiv aufgetragene Polymere eine vergleichbare Performance hinsichtlich der mechanischen Belastbarkeit gegenüber konventionellen Verbindungsstellen aufzeigen. Als Untersuchungsmethode kommt hierfür die Messung der Leiterausreißkraft im Zugversuch nach DIN EN 60512-16-4:2009-

03 zum Einsatz [4]. Untersucht wurde die Ausreißkraft von Kupferleitern aus der additiv hergestellten Verbindung von Leiter und Terminal (*Tabelle 1*). Die Kupferleiter wurden in drei unterschiedlichen Dimensionen verwendet, wobei der verwendete Terminal nicht variierte. Ein zusätzliches Verkrimpen erfolgte nicht, die ermittelten Werte der Ausreißkraft basieren ausschließlich auf der Verbindung mit dem leitfähigen Polymer. Als Referenz dienen die Werte derselben Messung an der konventionell hergestellten Crimpverbindung der gleichen Halbzeuge ohne Polymereinsatz.

Prüfmuster der elektrischen Verbindung	Elektrische Leitung	Elektrischer Kontakt	Sollwert	Gemessene Zugkraft [N]
<b>Konventionelles Referenzmuster (B-Crimp)</b>	Typ: FLRY Leitungsquerschnitt: 0,35 mm <sup>2</sup>	Typ: JPT Leitungsquerschnitt: 0,35 mm <sup>2</sup>	50 N	Von: 73,6 N Bis: 82,9 N
	Typ: FLRY Leitungsquerschnitt: 1,5 mm <sup>2</sup>	Typ: JPT Leitungsquerschnitt: 1,0 – 2,5 mm <sup>2</sup>	150 N	Von: 253,4 N Bis: 298,0 N
	Typ: FLRY Leitungsquerschnitt: 2,5 mm <sup>2</sup>	Typ: JPT Leitungsquerschnitt: 1,0 – 2,5 mm <sup>2</sup>	200 N	Von: 292,8 N Bis: 381,7 N
<b>Elektrisch leitfähiges Polymer, starr und hochfest</b> Am Beispiel: Elecolit 3657	Typ: FLRY Leitungsquerschnitt: 0,35 mm <sup>2</sup>	Typ: JPT Leitungsquerschnitt: 1,0 – 2,5 mm <sup>2</sup>	50 N	Von: 90,6 N Bis: 92,1 N
	Typ: FLRY Leitungsquerschnitt: 1,5 mm <sup>2</sup>	Typ: JPT Leitungsquerschnitt: 1,0 – 2,5 mm <sup>2</sup>	150 N	Von: 308,2 N Bis: 322,4 N
	Typ: FLRY Leitungsquerschnitt: 2,5 mm <sup>2</sup>	Typ: JPT Leitungsquerschnitt: 1,0 – 2,5 mm <sup>2</sup>	200 N	Von: 314,1 N Bis: 332,9 N

**Tabelle 1** Messwerte und Referenzwerte der Ausreißkräfte im Überblick (© Volkswagen AG)

<sup>1</sup> Beitrag der Volkswagen AG

## Fazit<sup>1</sup>

Die Untersuchung der additiv hergestellten elektrischen Verbindungen von verschieden dimensionierten Leitern mit dem gleichen elektrischen Kontakt zeigen insgesamt Ausreißkräfte in einem geeigneten Spektrum. Die Verbindungen mit dem elektrisch leitfähigen Polymer wiesen in dem Versuch im Vergleich zur konventionell hergestellten Crimpverbindung eine gleichwertige mechanische Festigkeit auf. Insgesamt erzielen die Untersuchungen der mechanischen Festigkeit Ausreißkräfte, welche über den geforderten Werten liegen und bestätigen damit den FIM-Ansatz. Die additive Verarbeitung elektrisch leitfähiger Polymere kann demnach in den nächsten Jahren die Fertigungsautomatisierung von Niedrigenergiebordnetzen in geeigneter Form erweitern. //

<sup>1</sup> Beitrag der Volkswagen AG

## Literaturhinweise

- [1] Specht, K., Maier, C.: Nachhaltige Bordnetzlösungen. Automobil Elektronik 02/2022: 30-33. Hüthig GmbH, Heidelberg (2022)
- [2] Deutsches Institut für Normung e. V.: E DIN 72036:2021-11. Straßenfahrzeuge – Automatisierung der Leitungssatzfertigung. Beuth Verlag GmbH, Berlin (2021)
- [3] Sicius, H.: Handbuch der chemischen Elemente. Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg (2021)
- [4] Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 60512-16-4:2009-03. Steckverbinder für elektronische Einrichtungen - Mess- und Prüfverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin (2009)

## Das Autorenteam

### Nico Lorenz

Leitung Bordnetzsysteme Triebstatz, Getriebe und Achsen  
Volkswagen AG, Wolfsburg

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralph Mayer**  
Professur Fahrzeugsystemdesign  
Fakultät Maschinenbau  
Technische Universität Chemnitz

### Marko Reichelt

Key Account Manager bei Panacol-Elosol GmbH

### Eike Leipold

Vertriebsleiter bei Panacol-Elosol GmbH  
Panacol-Elosol GmbH  
Steinbach/Taunus

 Springer Professional

Leitfähige Klebstoffe



Thomas Gesang, Udo Netzelmann:  
Reproduzierbares Dispensieren von  
Leitklebstoffen im Sub-Nanoliter-Bereich  
<https://sn.pub/MHLd4q>

# BRANCHEN- VERBUNDEN

Der neue Newsletter „Kleb- und Dichttechnik“ von **adhäsion**

Jetzt registrieren:

[www.springerprofessional.de/mynewsletters](http://www.springerprofessional.de/mynewsletters)



Alle Top-News und Branchen-Highlights aus der Welt der Kleb- und Dichttechnik, regelmäßig in Ihrem Postfach: Bestellen Sie jetzt unseren kostenlosen Newsletter.

**adhäsion** KLEBEN+  
DICHTEN