

Umweltfreundliche Beschichtungen für die Elektronik

Dr. Klaus W. Lienert, Ivan Sheiham, Harald Zastrow
Beck Electrical Insulation GmbH
Hamburg

1. Einleitung

Um den immer höher werdenden Umweltforderungen an elektronische Beschichtungen gerecht zu werden, waren bedeutende Weiterentwicklungen zur Reduzierung der VOCs sowie zur Einhaltung der zahlreichen EU-Richtlinien (gefährliche Inhaltsstoffe [ROHS], Elektronikschrotte [WEEE] und Altauto-Rücknahme [EOLV]) bezüglich der Verringerung von Gefahrstoffen und insbesondere Blei erforderlich.

Die ständige Miniaturisierung von Leiterplatten und elektronischen Baugruppen sowie die steigende Leistung der Schaltkreise stellen immer höhere Forderungen an die Beschichtungen. Insbesondere erhöhen sie die Ansprüche der Nutzer im Hinblick auf Wärmebeständigkeit und Haftung an verschiedene Untergründe.

Produkte wurden mit Hilfe von Verfahren entsprechend dem Stand der Technik für Anwengergeräte in den beiden Hauptkategorien **Dünnsfilm-** und **Dickfilm-**Beschichtungen entwickelt, die nach der Stärke der endgültig ausgehärteten Schichtdicke mehr oder weniger als 300 µm definiert werden. Dünnsfilm-Beschichtungen sind die Lacke, die allgemein auf Leiterplatten zum Gesamt- oder Selektivschutz aufgetragen werden. Dickfilm-Beschichtungen können als Selektivbeschichtung und/oder im „dam & fill“-Verfahren („Grenzwall + Verfüllung“) aufgetragen werden, um einen besseren Schutz gegen Vibrationen und mechanische Belastungen zu bieten als dies bei einer Dünnsfilm-Beschichtung möglich wäre. Die gleichen Werkstoffe werden auch zur Verkapselung von speziellen Bauteilen bzw. zum Vergießen von Elektronikgeräten wie z.B. Sensoren eingesetzt.

Im gesamten Bereich werden die Bectron-Neuentwicklungen sowie alle bereits etablierten Produkte in der Anwendung in enger Zusammenarbeit mit den kundenseitigen Nutzern weiterentwickelt.

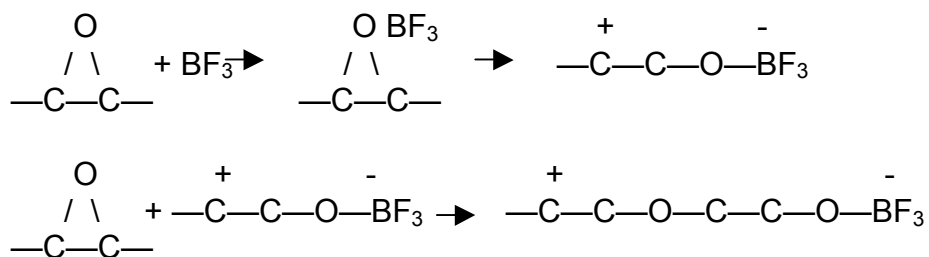
2. Dünnfilm-Bectron-Beschichtungen

2.1 VOC-freie Dünnfilm-Beschichtung (Bectron EP 5621)

2.1.1 Produktbeschreibung

Anstelle der klassischen Dünnfilmbeschichtungen, die zur Viskositätssenkung auf ein Lösemittel entweder mit einer Flüssigkeit oder mit Wasser angewiesen sind, wurde ein neues Produkt entwickelt, das kein Lösemittel enthält und weitgehend VOC-frei gestaltet ist. Die Arbeitsviskosität ist niedrig genug, um mit wenigen Ausnahmen in den wesentlichen derzeit genutzten Anlagen eingesetzt werden zu können.

Das Produkt **Bectron EP5621** ist eine klare Einkomponentenbeschichtung basierend auf einem modifizierten Epoxidharzsystem mit dem folgenden chemischen Aufbau:



Die Lewis-Säure hält das zur Bildung eines Carboniumions dienende Epoxid, das Ion wiederum reagiert mit der nächsten Epoxidgruppe. Diese Reaktionen laufen sehr schnell ab. Da die Zwischenprodukte hoch reaktiv sind, führen sie zu einer Reihe von Sekundärreaktionen, die wiederum zu weiteren Nebenreaktionen führen. Das so gebildete Netz gestaltet sich unregelmäßig, so dass die mechanischen Eigenschaften, insbesondere die Flexibilität, mäßig sind. Andererseits bewirkt der Polyetheraufbau eine gute Haftung des Films an den meisten Werkstoffen.

Da die zur Wärmehärtung eingesetzte Lewis-Säure einen Borontrifluorid-Komplex darstellt, ist eine ausreichende Lagerstabilität von 6 Monaten bei Raumtemperatur sichergestellt. Bei der UV-Härtung wird die Lewis-Säure durch eine Photoreaktion gebildet. Das Epoxidharz weist einen zyκλοaliphatischen Aufbau auf, der zur optimalen Verarbeitung modifiziert werden kann.

2.1.2 Anwendung

Die wesentlichen Eigenschaften bei der Anwendung von Bectron EP5621 sind:

- niedrige Viskosität (40 Sekunden ISO 6 mm Prüfbecher bei 23 °C)
- Anwendung durch Hochgeschwindigkeits-„Select Coating“ (Nordson Asymtek Film Coater Cross Cut Nozzle bei 60 °C) bzw. Sprühen bei Raumtemperatur
- Tauchen, selektives Fluten oder Auftrag
- geeignet für niedrigstufige ICs, Hybrid- sowie SMD-Bauteile
- fluoreszierend zur Erleichterung der Prüfung sowie farbig erhältlich (Bild 1)

2.1.3 Härtung

- UV-Härtung 300 Joule/cm²
- 24 Stunden bei 25 °C nach der UV-Exposition
- Wärmehärtung 30 Minuten bei 120 °C im konventionellen Ofen
- (Entwicklungen werden vorangetrieben, um die Härtungstemperatur zu senken)
- Kombinierte UV- und Wärmebehandlung zur Verkürzung der Härtezeit
- Keine Zersetzung bzw. Emissionen während der Härtung

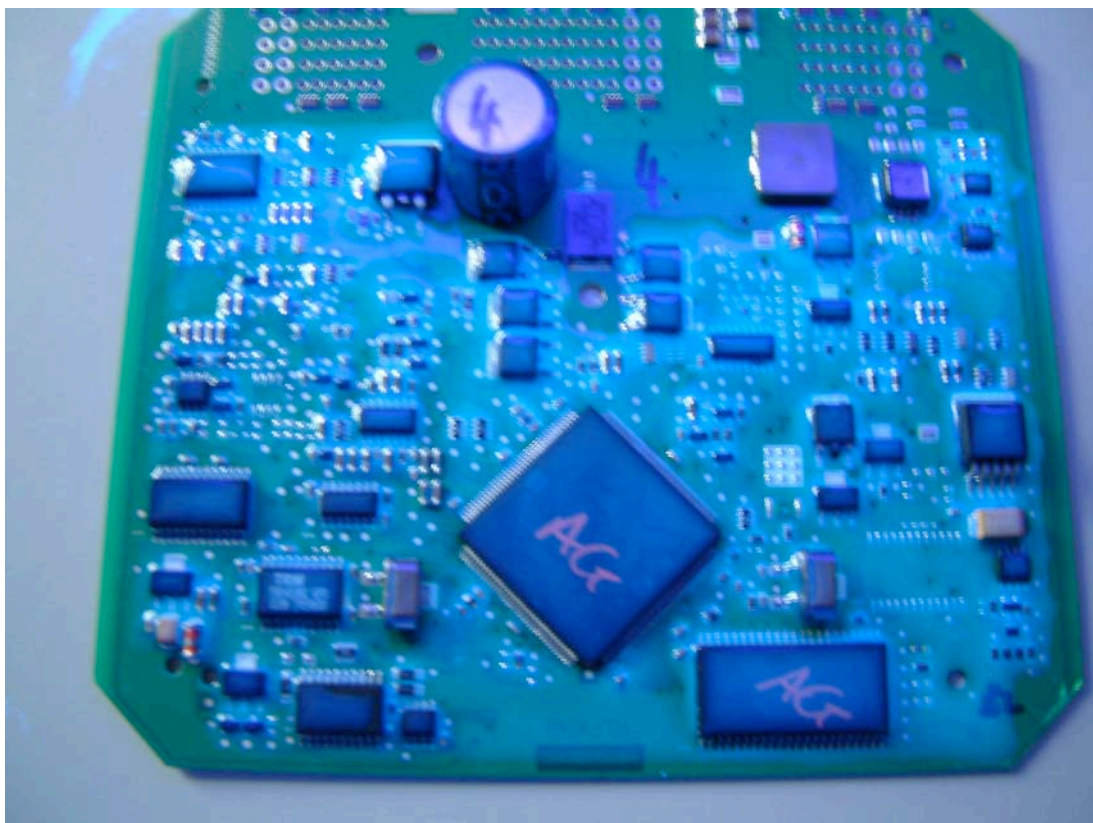


Bild 1

2.1.4 Wesentliche Eigenschaften des ausgehärteten Films Bectron EP5621

- Filmstärke 60-200 µm
- sichere Haftung und Kompatibilität mit Lötmaske, Lötpaste sowie Flussmitteln
- hohe Leistung bezüglich Wärme- und elektrischer Eigenschaften auch unter widrigen Umgebungsbedingungen
- gute Stabilität gegen Atmosphäre bei Einsatz in Automobil- und Schiffsmotoren

2.1.5 Lagerung, Handhabung, Umwelt und Sicherheit

Das Härten des Harzes verläuft emissionsfrei ohne Degradationsprodukte, ohne VOCs und ohne Gefahren. Für den Umgang mit Epoxidharz sind bei der Handhabung die üblichen Maßnahmen gegen Hautkontakt erforderlich. Keine Gefahrenhinweise für den Versand.

2.2 Bleifreie Dünnschichtbeschichtung PL4122 BLF

Die Produktreihe Bectron PL4122, Einkomponenten-Dünnschichtbeschichtung, ist bekannt und hat sich in zahlreichen Automobil- und sonstigen Anwendungen durchgesetzt. Dieses bewährte Produkt ist jetzt in einer vollständig bleifreien Version als **PL4122 BLF** erhältlich, ohne Leistungsverluste in der Beschichtung bzw. bei den Eigenschaften des ausgehärteten Films.

2.2.1 Produktbeschreibung

Bectron **PL4122 BLF** ist ein klarer Überzugslack auf der Basis eines Urethan-modifizierten Alkydharzes in einem nur auf aliphatischen Kohlenwasserstoffen aufgebauten Lösungssystem, um höchste Anforderungen bezüglich der Stiftkorrosion zu erfüllen. Das Produkt ist vollständig frei von Blei- oder Aromatik-Lösungsmitteln, die Härtung erfolgt durch Oxidation an der Umgebungsluft.

PL4122 BLF ist verfügbar mit der gleichen Bandbreite von Feststoffen und Viskositäten, ist also für alle etablierten Anwendungen der bekannten Originalprodukte mit 37 % bis 45 % Feststoffen geeignet. Das Produkt steht als farbloser Lack, durchsichtiger orangefarbener Lack oder mit einem fluoreszierenden Farbstoff zur Prüfung unter einer UV-Lampe (bzw. unter schwarzem Licht) zur Verfügung.

2.2.2 Anwendung und Verarbeitung

PL4122BLF kann bei den meisten montierten Leiterplatten insbesondere für automobiler und maritime Transportzwecke eingesetzt werden. Ferner ist es für Hybrid- und SMD-Bauteile sowie für den Schutz von diskreten elektronischen Bauteilen einsetzbar.

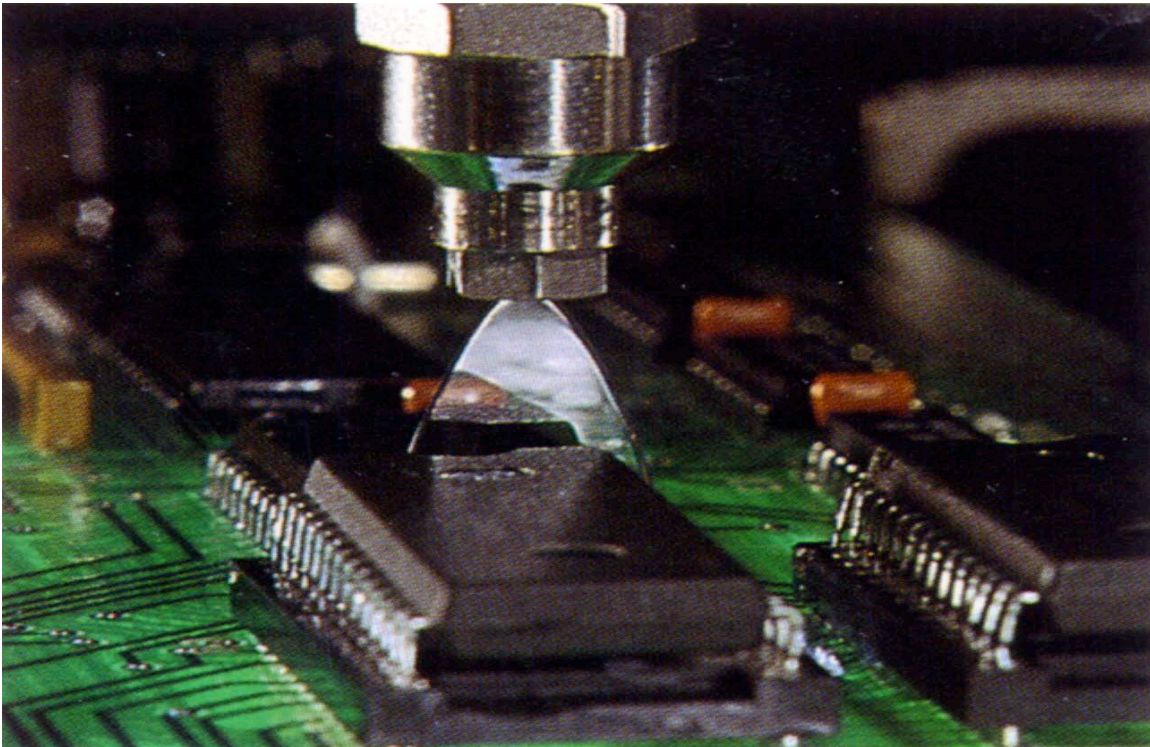


Bild 2

Die im Bild 2 gezeigte selektive Beschichtung wird weitgehend für anspruchsvollste Anwendungen zur gezielten Behandlung von ausgewählten Flächen verwendet, wobei kritische Verbindungen oder sonstige Bereiche beschichtungsfrei bleiben. Die alternativen Verfahren (Selektiv- oder Gesamt-) Tauchen, Sprühen oder kleinflächiges Aufpinseln (zu Reparaturzwecken) sind ebenfalls bedeutend. Eine gute Vernetzung und ein guter Auftrag auf allen elektronischen Oberflächen lässt sich leicht erreichen.

Die Viskosität lässt sich mit Verwendung des Verdünnungsmittels 239 einstellen.

2.2.3 Härten

- Für die Härtung an der Luft sind 16 Stunden bei 23 °C erforderlich
- Für die beschleunigte Härtung werden 30 Minuten bei 80 °C - vorzugsweise mit Ofenbelüftung - benötigt
- Die Haltbarkeit in versiegelten Behältern beträgt 6 Monate

2.2.4 Wesentliche Eigenschaften des ausgehärteten Films

Die Eigenschaften des ausgehärteten Films mit **PL4122 BLF** bereits bekannt bezüglich der chemischen Beständigkeit gegenüber elektronischen Bauteilen, Oberflächen und dielektrischen Eigenschaften, sind wie folgt:

- Dielektrische und physikalische Eigenschaften
 - bezogener Volumenwiderstand : 10^{16} ohm.cm
 - 7 Tage Eintauchen in Wasser : 10^{15} ohm.cm
 - dielektrische Festigkeit : 112 kV/mm
 - Kriechstromfestigkeit : CTI > 600M
 - Verbrennungsverhalten : gem. UL: Daten
 - Temperaturindex : 134 °C

- Chemische Beständigkeit gegenüber
 - Feuchtigkeit
 - Salzwasser
 - schwachen Säuren und Alkalien
 - mineralölbasierten Flüssigkeiten bzw. Ölen
 - aromatischen Lösungsmitteln

2.2.5 Lagerung, Handhabung, Umwelt und Sicherheit

Für die Lagerung und Handhabung von PL4122 BLF sind die üblichen Vorsichtsmaßnahmen für brennbare Flüssigkeiten anwendbar (Flammpunkt 32 °C in Abhängigkeit vom Feststoffgehalt).

3. Dickfilmbeschichtungen (Bectron PK 55..)

Zusätzlich zu den beschriebenen Dünnschichtungen gibt es auch Dickfilmbeschichtungen auf der Basis von Einkomponenten-Polyurethanen, die eine wichtige Rolle beim Schutz von Elektroniksystemen ohne erhöhte Umweltgefahren spielen.

Die einzigartigen Eigenschaften des Einkomponenten-Polyurethans Bectron PK43.. sind bekannt und werden in zahlreichen Automobilanwendungen eingesetzt.

Bectron PK43.. ist ein VOC-freies Harz mit 100 % Feststoffen, das während der Härtung keine bedeutenden Emissionen verursacht und weder Blei noch Zinn enthält.

Es handelt sich somit um eine in jeglicher Hinsicht umweltfreundliche Zusammensetzung.

Durch neuerliche Entwicklungen wurde die Wärmebeständigkeit von 125 °C für PK43 mit dem Produkt **Bectron PK55.. mit Wärmebeständigkeit bis 155 °C verbessert.**

3.1 Produktbeschreibung

3.1.1 Chemischer Aufbau

Das Einkomponentensystem basiert auf dem einzigartigen Prinzip eines geschützten Isocyanats, wie im Bild 3 unten dargestellt.

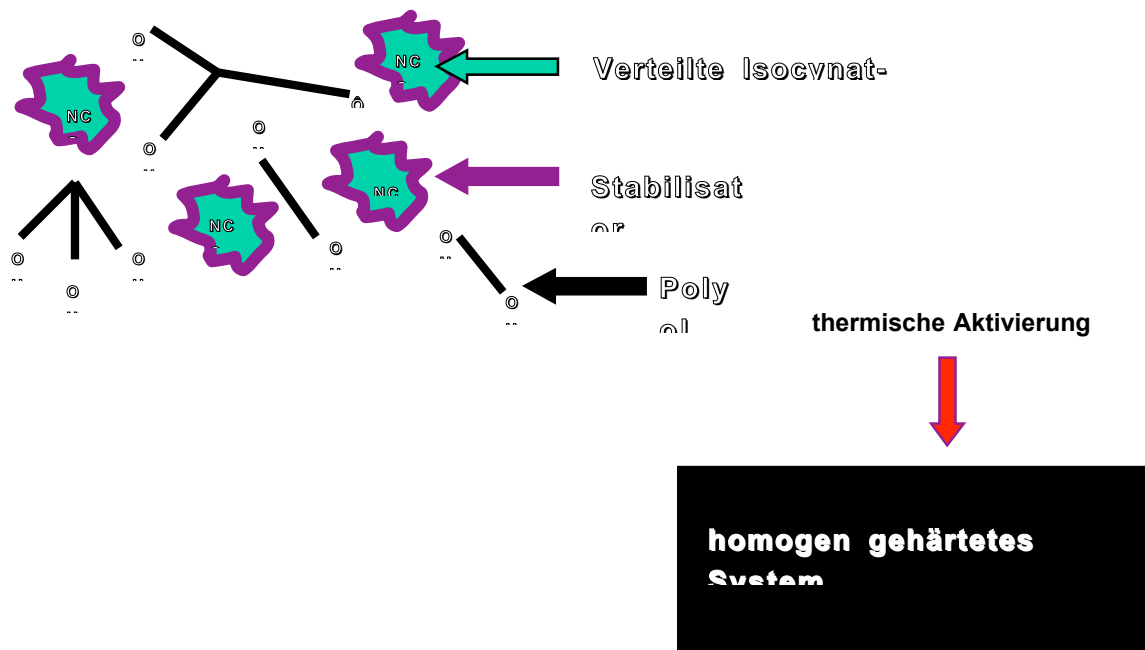


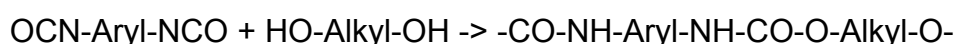
Bild 3

Nach Durchführung eines großen Forschungs- und Entwicklungsprogramms wurde die Wärmebeständigkeit des Produktes von 125 °C auf **155 °C** erhöht, um den neuen Produktbereich PK55.. zu schaffen, der nichts von den herausragenden Leistungen dieser patentierten chemischen Zusammensetzung einbüßt. PK55.. ist somit eine ernst zu nehmende Alternative zu den Silikonen bei Hochtemperaturanwendungen, wobei viele dort auftretende Fertigungsprobleme vermieden werden.

Vom chemischen Aufbau her bestehen die Produkte aus einer Einkomponenten-, lösemittelfreien Dispersion eines festen, in Polyol voll verkapselten Polyisocyanats. Die Wahl und Menge des Füllmittels bestimmen die Fließeigenschaften des Harzes, und zwar von einer thixotropischen Rheologie bis zu einer niedrigen Viskosität.

Bei Erwärmung wird die Verkapselung des Polyisocyanats abgebaut, die Polyadditionsreaktion erfolgt, so dass ein duroplastisches Harzmaterial entsteht.

Vereinfacht lässt sich die chemische Reaktion wie folgt darstellen:



Das aromatische Polyisocyanat reagiert mit dem aliphatischen Polyol, um Polyurethan zu bilden. Da das Polyol primäre OH-Gruppen enthält, ist die Reaktionsgeschwindigkeit relativ hoch. Ferner enthält das Produkt einen Katalysator, der die Reaktion beschleunigt und die Härtezeit verkürzt. Der Katalysator enthält weder Blei noch Zinn.

Aus thermogravimetrischen Studien zu Modellverbindungen ist bekannt, dass sich Polyurethan in unterschiedliche Strukturen in Abhängigkeit von der Temperatur aufspalten kann.

n-Alkyl-NH-CO-O-Alkyl	ca. 230 °C – 250 °C
Aryl-NH-CO-O-Alkyl	ca. 200 °C
n-Alkyl-NH-CO-O-Aryl	ca. 180 °C
Aryl-NH-CO-O-Aryl	ca. 120 °C – 130 °C

Zusätzlich spielen die Substitution sowie Katalysator- und Matrixwirkungen eine Rolle.

In einer komplexen Mischung wie einem voll ausgehärteten Formmaterial wird die Temperaturstabilität nicht nur durch die thermische Dissoziation des Polyurethans, sondern auch durch Faktoren wie die Migration der Weichmacher, die Reaktion der Füllmittel mit dem Polymer sowie die Beständigkeit gegen Oxidierung durch den Sauerstoff der Umgebungsluft bestimmt. Auf diese Weise haben die Dichte der Vernetzung sowie die Oberflächenbeschaffenheit einen weiteren Einfluss. Durch sorgfältige Abstimmung aller beschriebenen Faktoren wurde die langfristige Temperaturbeständigkeit unseres Einkomponentenprodukts Bectron PK erhöht.

3.1.2 Produktpalette und Eigenschaften

Die in folgender Tabelle aufgeführte Produktpalette enthält das einmalige Angebot einer Matrix von 4 Härtestufen des ausgehärteten Harzes aufgrund einer Reihe von Viskositäten des flüssigen Harzes.

Dieser Produktbereich deckt eine Viskosität von 3000 bis 11000 mPas sowie eine Härte von Shore A 30 (elastisch) bis Shore D 40 (mittelhart) wie unten dargestellt ab. Alle Stufen weisen ein nicht-Newtonsches Verhalten mit Scher-Verdünnungsverhalten auf; die Stufen höherer Viskosität sind thixotropisch.

Bectron	PK 43/553.	PK 43/554...	PK 43/555...	PK 436...
Viskosität	PK 4330	PK 4340	PK 4351 M	
?	PK 4332	PK 4342		PK 4364 B
?		PK4344	PK 4353	
abnehmend				
Bectron	PK5532	PK5542	PK5553	PK5562

Bectron	PK ..3.	PK ..4.	PK ..5.	PK ..6.
	Shore A	Shore A	Shore D	Shore D
Härte	35 +- 10	70 +- 10	30 +- 10	40 +- 10
? ? ?	sehr weich	weich	elastisch	hart

3.2 Anwendungen

3.2.1 Anwendungsverfahren

Der Produktbereich Bectron PK55 bietet nach wie vor die Möglichkeit, Leiterplatten als Dickfilm-Konformalbeschichtung zu schützen (so wird ein teures Gehäuse vermieden), indem eine Schichtdicke von > 1 mm normalerweise durch die höheren Viskositätsstufen erreicht wird.

Beispiele mit niedriger Viskosität werden in zahlreichen Vergusseinsätzen insbesondere bei empfindlichen Sensoren im Automobilbereich eingesetzt.

Ein wesentlicher Faktor ist die Möglichkeit der Erreichung einer erheblichen Schichtdicke an einer Leiterplatte mittels „dam and fill“-Technik („Grenzwall“ mit „Verfüllung“). Beispielsweise lässt sich ein mit einer höherviskosen thixotropischen Stufe gebildeter „Grenzwall“ mit einem Material geringerer Viskosität aber gleicher Härte füllen, danach kann in einem einzigen Schritt gehärtet werden. Siehe Beispiel unten, Bild 4.

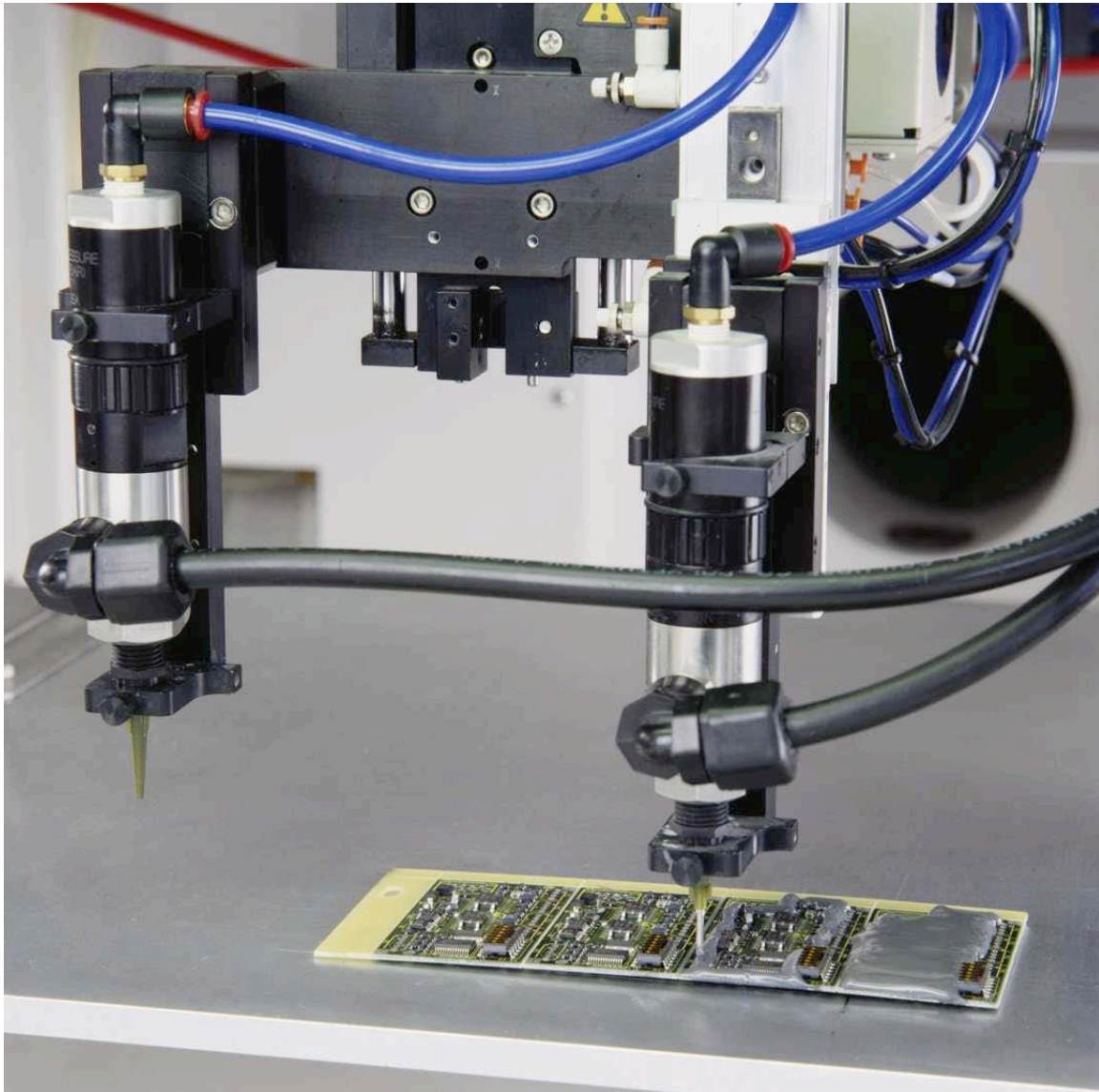


Bild 4

Durch diesen konsequenten Aufbau ist eine genaue Steuerung der Viskosität durch Wahl der Länge und des Durchmessers der Verteilerdüse möglich, um die Scherkräfte und damit die Viskosität des Harzes beim Auftreffen auf die Leiterplatte zu bestimmen.

Obwohl das ausgehärtete Harz eine sehr hohe Stabilität und chemische Beständigkeit aufweist, lässt sich das nicht ausgehärtete Harz mit herkömmlichen Lösungsmitteln einfach von den Auftragsgeräten entfernen, es treten keine störenden Düsenverstopfungen auf.

Bectron PK55 wird meist durch konventionelle Verteildüsen aufgetragen. Größere Leiterplattenflächen lassen sich durch Einsatz von Auftragsgeräten wie „Control-Coat“ bzw. „Swirl-Coat“-Düsen (Nordson Asymtek) in kurzen Verfahrenszeiten realisieren.

3.2.2 Härtung

Die Härtung wird durch Aufheizen bei 90 °C für eine Dauer von 30 Minuten (bzw. 80 °C für eine Dauer von 60 Minuten) durchgeführt, wobei für die weicheren Stufen längere Zeiten erforderlich sind.

Die Härtung lässt sich in geeigneten Fällen durch Infrarotbehandlung wesentlich verkürzen.

3.2.3 Eigenschaften des ausgehärteten Harzes

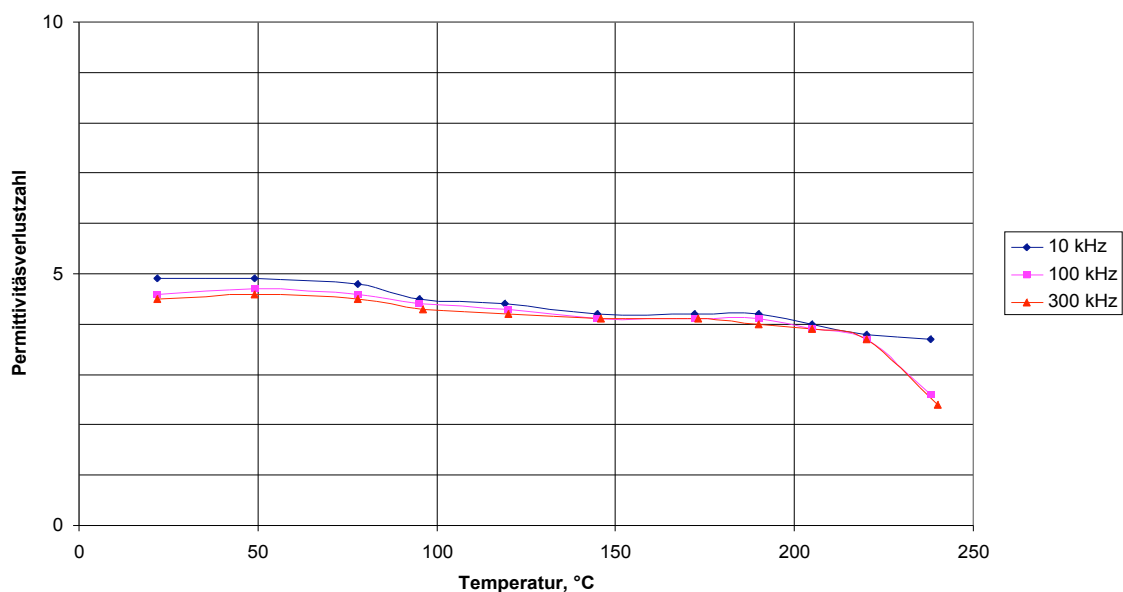
Die wesentlichen Materialeigenschaften sind:

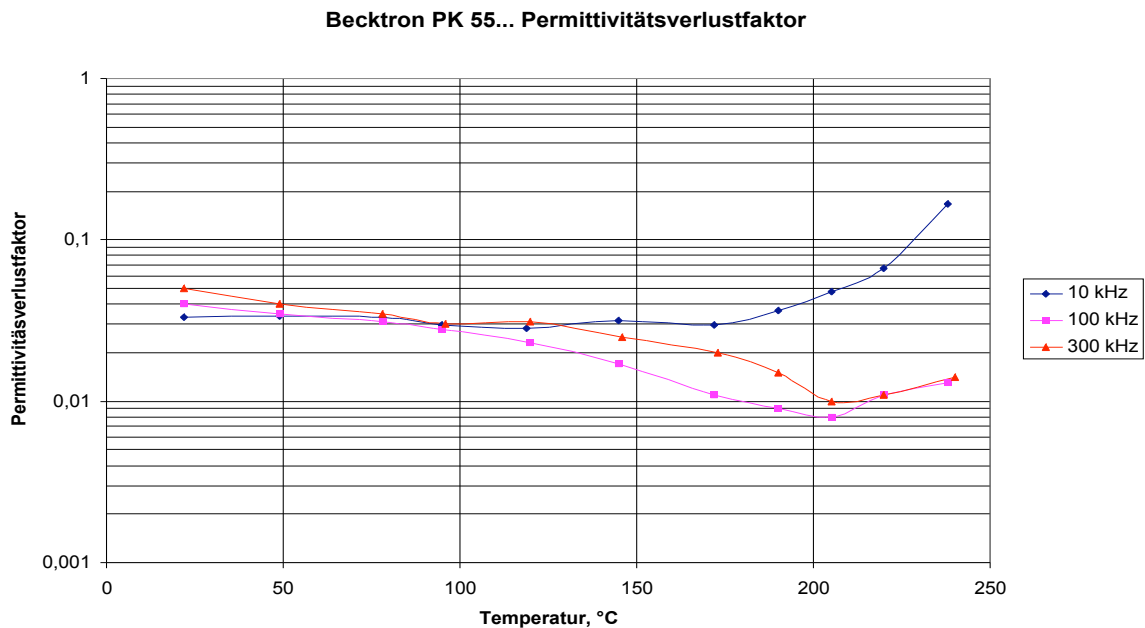
- Temperaturwechselbeständigkeit -50 bis +155 °C
- Glasübergangstemperatur -50 to -60 °C
- keine Exothermie bei der Härtung
- minimaler Schrumpf
- Beständigkeit bezüglich einer breiten Paletten von Automobilflüssigkeiten:
 - Motoröl, Benzin und Dieselkraftstoff
 - Testbenzin
 - Frostschutzmittel
 - Bremsflüssigkeit
 - Batteriesäure
 - Reinigungsmittel

Diese Eigenschaften gewährleisten bei gleichmäßig aufgetragener Schichtdicke unter allen Verhältnissen einen hervorragenden elastischen Schutz gegen Vibrationen und harte chemische Umgebungsbedingungen.

Die hervorragenden elektrischen Eigenschaften sind in den unten aufgeführten Bildern dargestellt.

Bectron PK 55... Permittivitätsverlustzahl





3.3 Lagerung, Handhabung, Umwelt und Sicherheit

Für Bectron PK55..-Harze besteht keine Gefahrgut- bzw. Transportkennzeichnungspflicht. Das Isocyanat ist ein Feststoff, der im flüssigen Harz geschützt und verteilt ist, es stellt auch bei härtesten Umgebungsbedingungen keine Gefahr dar. Dennoch sind für diese chemische Verbindung die in der Industrie üblichen Vorsichtsmaßnahmen bezüglich Sauberkeit, Hygiene und guter Belüftung geboten. Das Härten des Harzes geschieht emissionsfrei und ohne Entweichen von flüchtigen Bestandteilen.

Beim Lagern ist das Harz vor Feuchtigkeit zu schützen. Beim Pumpen sind nur Verdrängerpumpen mit geringen Scherkräften einzusetzen, um eine Beschädigung des Isocyanat-Feststoffes durch hohe Scherkräfte sowie eine vorzeitige Härtung zu vermeiden.

Nach längerer Lagerzeit kann das Harz insbesondere bei den niedrigviskosen Stufen eine geringfügige Phasentrennung der Dispersion aufweisen. Vor der Befüllung der Produktionsbehälter wird eine Homogenisierung durch Rotation der Fässer auf einem Rolltisch empfohlen.

4. Schluss

Durch moderne Entwicklungen im Produktbereich Bectron werden die höchsten Beschichtungsleistungen mit VOC-freien Konformalbeschichtungen sowohl in Dünn- als auch in Dickfilmanwendungen erreicht. Bei Einsatz von lösemittelbasierten Beschichtungen wird ein Kohlenwasserstoff-System mit minimalem Risiko ohne Bleigehalt und ohne Verlust der wesentlichen Eigenschaften der Beschichtung eingesetzt.