

## **Dickschicht-Beschichtungsstoffe und schnelle Schutzlackierprozesse – ein Widerspruch?**

**Dr. Manfred Suppa  
Michael Kollasa**



## Inhaltsangabe

### Einleitung

- 1 Allgemeine Anforderungen an Schutzlacke
- 2 Die Klimabelastung in Regelwerken zur Qualifizierung von Schutzlacken
- 3 Welche physikalischen Unterschiede gibt es zwischen hoher Luftfeuchte und Btauung?
- 4 Betrachtung von Dickschichtschutzlackierungen
- 5 Die Baugruppenbeschichtung mit dem **Twin-Cure**<sup>®1</sup>-System
- 6 Applikation und Härtung
- 7 Eigenschaften
- 8 Schlußbetrachtung

---

<sup>1</sup> Twin-Cure<sup>®</sup> (Warenzeichen ist beantragt)

## Einleitung

Schutzlacke – im englischen Sprachgebrauch als Conformal Coatings oder Protective Coatings bezeichnet – sind Lacksysteme, die Baugruppen, auch bei ungünstigen Umgebungsbedingungen, vor Ausfällen schützen sollen. Schutzlacke gewährleisten insbesondere einen Schutz vor Feuchtebelastungen unter verschiedensten Klimabedingungen, vor Schmutz und anderen Verunreinigungen als auch einen Schutz vor einer Reihe von organischen Lösungsmitteln und anderer Chemikalien.

### 1. Allgemeine Anforderungen an Schutzlacke

Die allgemeinen Anforderungen an Schutzlacke sind u. a. in folgenden nationalen bzw. internationalen Regelwerken erfaßt:

- **IPC CC 830**, Qualification and Performance of Electrical Insulating Compounds for Printed Board Assemblies
- **IEC 1086-1 bis 3**, Specification for coatings for loaded printed wire boards (conformal coatings)
- **IEC 464-3-1**, Varnishes used for electrical insulations
- **DIN 46449**, Isolierlacke und Isolierharzmassen in der Elektrotechnik, Überzugslacke, Prüfverfahren
- **DIN VDE 0110-3**, Isolationskoordination für Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen Teil 3: Anwendung von Beschichtungen zum Zweck der Isolationskoordination bei bestückten Leiterplatten
- **UL 746 C/E**, Standard for Safety for Polymeric Materials – Industrial Laminates, Filament, Wound Tubing, Vulcanized Fibre, and Materials used in Printed Wiring Boards

Informativen Charakter hat die im Entwurf befindliche Richtlinie der IPC.

- **IPC HDBK-830** (Draft 3, März 2000), Guideline for Design, Selection & Application of Conformal Coatings

Weitere Anforderungskataloge finden sich bei den verschiedenen Anwendern insbesondere aus der Automobilindustrie, der Raum- und Luftfahrtindustrie.

Wesentliche Anforderungen an Schutzlacke sind:

- Leichte Verarbeitbarkeit, u.a. Viskositätseinstellung, Trocknungsgeschwindigkeit
- mechanische Eigenschaften,
- elektrische Eigenschaften,
- thermische Eigenschaften,
- chemische und physikalische Eigenschaften.

mechanische Eigenschaften	elektrische Eigenschaften	thermische Eigenschaften	chemische und physikalische Eigenschaften
Hafffestigkeit Zugfestigkeit Druckfestigkeit Biegefestigkeit E-Modul (Young Modul) Härte	spezifischer Widerstand Oberflächenwiderstand Kriechstromfestigkeit Durchschlagfestigkeit dielektr. Verlustfaktor Dielektrizitätskonstante	Ausdehnungskoeffizient Wärmeleitfähigkeit Dimensionsstabilität Glasübergangstemperatur Brennbarkeit	Wasseraufnahme Permeabilität chemische Beständigkeit Tropenbeständigkeit Elektrolytische Korrosion Lösungsmittelbeständigkeit

Tabelle 1: Allgemeine Anforderungen an einen Schutzlack/Beschichtungsstoff

In der folgenden Betrachtung werden insbesondere die klimatischen Belastungen und ihre Folgen genauer betrachtet. Die Anforderungen an eine Klimabeständigkeit sind von ihrer Natur her an mechanische und/oder elektrische Eigenschaften gekoppelt.

Die möglichen Klimabelastungen – im Sinne von Umgebungsparametern –, die während der Funktion einer elektronischen Baugruppe auftreten können, sind:

- hohe/niedrige Luftfeuchte,
- hohe/niedrige Temperaturen,
- niedriger Luftdruck,
- schnelle Klimawechsel,
- Betauung,
- mikrobiologische Belastung,
- Verschmutzung.

Eine verallgemeinerte Forderung an eine elektronische Baugruppe ist die, daß bei einer Betauung – unter Berücksichtigung verschiedener Klimabedingungen wie z. B. Temperatur – die Funktionssicherheit gewährleistet ist. Im folgenden werden die Anforderungen bei Belastung durch Feuchtigkeit einer genaueren Betrachtung unterzogen.

## **2. Die Klimabelastung in Regelwerken zur Qualifizierung von Schutzlacken**

Die Prüfung der Klimasicherheit ist in einer vereinfachten Form in verschiedenen Normenwerken geregelt. Es findet sich unter anderem die Forderung nach einer Beständigkeit des Schutzlackes gegen feuchte Umgebungsbedingungen, insbesondere die Aufrechterhaltung der Isolationswirkung. Hier finden sich beispielsweise folgende Belastungsparameter und Grenzwerte:

### **IPC CC 830:**

Isolationswiderstand: **During and after Moisture**

Class 1 and 2: 100 MOhm

Class 3: 500 MOhm

"Klima- bzw. Prüfbedingungen": Wechseltest 65 °C / 25 °C bei 90 - 98 % RF<sup>2</sup> (definierte Zeiten und Rampen), gemessen wird an einer definierten IPC-Prüfplatte.

Die Class 1-Anforderung gilt für den normalen Anwendungsbereich, unter den die Unterhaltungselektronik fällt, als auch nichtkritische Industrieelektronik.

Die Class 2-Anforderung gilt für die Computer- und Telekommunikationselektronik sowie nichtkritische militärische Anwendungen.

Die Class 3-Anforderung gilt für lebenserhaltende Elektronik und für elektronische Anwendungen, in denen ein Ausfall nicht toleriert werden kann.

### **IEC 1086-1 bis 3:**

Insulation resistance after damp heat:  $> 1 \times 10^{10}$  Ohm

"Klima- bzw. Prüfbedingungen": 10 Tage Konstantklima 40 °C bei 93 % RF, gemessen wird an einer definierten IPC-Prüfplatte nach Rekonditionierung bei Raumtemperatur.

Die IEC 1086-1 unterscheidet zwar zwischen genereller Anforderung (Class I) und hoher Zuverlässigkeit (Class II), macht bei diesem Test aber keinen Unterschied.

---

<sup>2</sup> RF = Relative Feuchte

**IEC 464-3-1:**

Durchgangswiderstand nach Immersion:

Vorher:  $> 10^{12}$  Ohm x cm

Nachher:  $> 10^8$  Ohm x cm

Effekt der Immersion auf die Durchschlagsfestigkeit:

Nachher:  $> 40$  kV/cm

"Klima- bzw. Prüfbedingungen": Konstant 23 °C Wassertemperatur für 7 Tage (dest. Wasser).

**DIN 46 449:**

Spezifischer Durchgangswiderstand in Abhängigkeit von der Lagerung in Wasser nach 24, 48, 96 und ggf. 240 h.

Es werden keine Grenzwerte angegeben.

**DIN VDE 0110-3:**

Isolationswiderstand:  $\geq 100$  MOhm

"Klima- bzw. Prüfbedingungen": 4 Tage Konstantklima 40 °C bei 93 % RF, gemessen wird an einer definierten IPC-Prüfplatte.

**UL 746 C:**

Meßgrößen sind die Durchschlagsfestigkeit, mindestens 50 % des Wertes für die unkonditionierte Probe und mindestens 1 kV für 60 s.

Die UL 746 C unterscheidet drei Konditionierungen:

– Environmental Cycling Conditioning

Bei dieser Konditionierung wird zwischen Innenraum-Anwendungen und Außenanwendungen unterschieden:

"indoor end-use application": 24 h Gebrauchstemperatur, 96 h bei 35 °C / 90 % RF, 8 h bei 0 °C

– "outdoor end-use application": 24 h Wasserlagerung bei 25 °C, 24 h Gebrauchstemperatur, 96 h bei 35 °C / 90 % RF, 8 h bei -35 °C

– Humidity Conditioning

"Klima- bzw. Prüfbedingungen": 7 Tage Konstantklima 35 °C bei 90 - 95 % RF, gemessen wird innerhalb von 2 Minuten nach Herausnahme aus dem Klimagerät an einer speziellen UL-Prüfplatte.

– Thermal Conditioning

Sei hier nicht weiter betrachtet, es handelt sich um einen "trockenen" Zyklus.

Nicht unerwähnt bleiben soll hier die IEC-Reihe "Basic Environmental Testing Procedures", von der es eine Serie von rund 70 Testverfahren gibt, die verschiedenste Belastungen sowohl klimatischer als auch mechanischer Art abdeckt.

**3. Welche physikalischen Unterschiede gibt es zwischen hoher Luftfeuchte und Betauung?**

Bei einer atmosphärischen Belastung unter üblichen Klimaten liegt immer auch eine Feuchtebelastung vor, wobei die Beschichtung der Baugruppe mit dem Wasserdampf der Atmosphäre im Gleichgewicht steht. Da kein Polymer wasserdampfundurchlässig ist (!), ist somit immer ein gegebener Anteil an Wasser im Polymer gelöst. Mit zunehmender Tem-

peratur und zunehmender Luftfeuchte kann sich mehr Wasser in das Polymer einlagern.

In diesen Fällen ist das Gleichgewicht Wasser gelöst im Polymer zum Dampfdruck des Wassers in der Luft der physikalisch maßgebliche Prozeß.

Gleichzeitig bilden sich bei etwa 40 % RF (relativer Feuchte) dünnste Wasserfilme im molekularen Maßstab. Bei ca. 60 % RF hat sich ein bis zu 4 Moleküllagen dicker Film auf der Oberfläche gebildet. Ein Film dieser Dicke kann bereits mit hygroskopischen – d. h. wasseranziehenden – Verunreinigungen auf der Filmoberfläche in Wechsel treten.

Anm.: Allerdings werden bei diesen Konditionen die meisten Baugruppen betrieben und i. d. R. ist keine zusätzliche Schutzbeschichtung erforderlich.

Bei einer RF von 80 % haben sich ca. 10 Moleküllagen gebildet. Diese verhalten sich bereits ähnlich wie "normales" Wasser, es können Lösungsvorgänge von Salzen auf der Oberfläche beginnen und ionische Prozesse ablaufen.

Anders liegen die Bedingungen bei einer Betauung. Eine Betauung tritt dann auf, wenn der Sättigungsdampfdruck bei einer gegebenen Temperatur überschritten wird. Wird ein kaltes Bauteil in eine warme Atmosphäre gebracht, so kühlt sich die unmittelbar an die Baugruppe grenzende Luft ab. Da kalte Luft weniger Wasser aufnehmen kann als warme Luft, kondensiert das Wasser aus und kann sich sichtbar in Form von Tropfen auf der Baugruppe niederschlagen. Es handelt sich physikalisch um einen vergleichbaren Vorgang wie bei der Nebelbildung in Herbst und Frühjahr. Die Gefahr dieser Taupunktunterschreitung ist bei niedrigeren Temperaturen zwischen 0 und 10 °C besonders groß.

Im Falle der Betauung verändern sich einige Gesetzmäßigkeiten. Das im Polymer gelöste Wasser steht nun nicht mehr im Gleichgewicht zum Wasserdampf in der Luft, sondern im Gleichgewicht zum auf der Bauteile- oder Lackoberfläche kondensierten Wasser. Die nun zum Tragen kommenden Gesetzmäßigkeiten lassen sich unter dem Begriff der Osmose zusammenfassen. Dies hat weitreichende Konsequenzen und wird nachstehend eingehend erläutert.

Osmose bedeutet, daß sich jeder in Wasser gelöste Stoff verdünnt, bis der osmotische Druck dieser sich bildenden Lösung gleich dem des Wassers oder des Wassertropfens auf dem Lackfilm ist. Betroffen sind hiervon z. B. Salze, d. h. beispielsweise auch Spuren von Handschweiß auf der Leiterplatte, aber auch wasserlösliche Komponenten aus dem Fluxmittel. Diese osmotischen Effekte senken die elektrischen Widerstandswerte drastisch und können bis hin zur Blasenbildung führen.

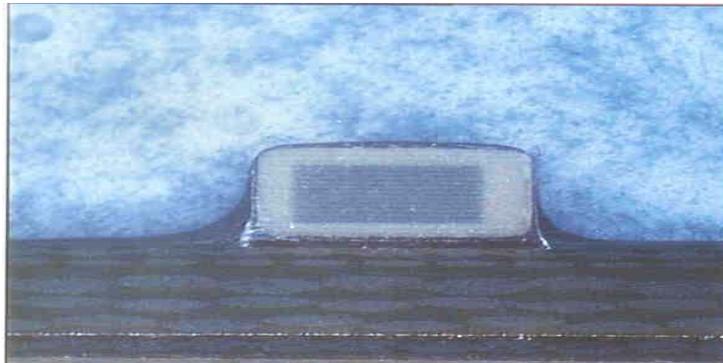
Diese unter dem Begriff Osmose zusammenzufassenden Prozesse fordern eine Betrachtung sowohl der Leiterplattenvorbehandlung vor der Schutzlackierung als auch des Beschichtungsstoffes.

Diese Betrachtung der physikalisch unterschiedlich zu bewertenden Feuchtebelastungen hat Konsequenzen bei der Auswahl der Prüfgeräte zur Qualifizierung von Schutzlackierungen. Die Temperatur-Feuchte-Belastung bei hoher Luftfeuchte von 90 - 98 % RF und konstanter Temperatur führt nicht zur Betauung. Bei einem überlagerten Temperaturwechsel wird die Luftfeuchte nachreguliert und je nach Leistungsfähigkeit des Gerätes eine Betauung ausgeschlossen. Untersuchungen mit einem sogenannten "Schwitzwassergerät" nach IEC 60 068-2-3 (entsprechend DIN 50 017) bewirken eine konstante Betauung und starten somit auch die oben beschriebenen osmotischen Vorgänge.

Erschwerend hinzukommen kann eine Belastung über aus der Umgebungsluft abgeschiedene Schmutzpartikel oder Schadstoffe aber auch Kontaminationen durch in der Umgebung der Baugruppe vorhandene Betriebsstoffe wie z. B. im Motorraum vorkommende Kraftstoffe, Öle etc.

#### **4. Betrachtung von dickschichtigen Schutzlackierungen**

Gerade die Klimabedingungen, unter denen Baugruppen betrieben werden, nehmen an Aggressivität und Belastungen immer mehr zu. Teilweise sind eingesetzte Schutzlacke hier in ihrer Schutzwirkung überfordert, insbesondere wenn es zur Betauung der Baugruppe kommt. Diese Überforderung ist weniger auf die mangelnde Leistungsfähigkeit oder Qualität der verwendeten Polymere oder Bindemittel zurückzuführen, als viel mehr auf die derzeit allgemein üblichen Schichtdicken, wobei insbesondere die Kantenabdeckung der zu schützenden Bereiche eine wichtige Rolle spielt.



konventioneller Lack auf Bauteil 4-fach

Entsprechend der IPC-2221 finden sich für Conformal Coatings auf Acryl-, Epoxy- und Urethanharzbasis Schichtdickenempfehlungen von 30 bis 130  $\mu\text{m}$  und für Siliconharze von 50 - 150  $\mu\text{m}$ . Einen wesentlichen Einfluß auf die Schutzwirkung von Beschichtungen hat die Schichtdicke. Die Schichtdicke ist der Migrationsbeständigkeit etwa direkt proportional, d. h. eine Verdoppelung der Schichtdicke verdoppelt auch etwa die Migrationsbeständigkeit und somit die Schutzwirkung. Damit scheint die Problemlösung recht simpel: Mit den im Markt befindlichen Lacken werden höhere Schichtdicken aufgebracht und die Schutzwirkung wird verbessert. Dieser Gedankenansatz führt jedoch eher zu gegenteiligen Effekten.

Geht man von üblichen Schutzlacken aus, gilt grundsätzlich, daß Lackfilme um so langsamer trocknen je dicker sie appliziert sind. Physikalisch verständlich, denn das im nassen Lackfilm befindliche Lösungsmittel muß einen längeren Weg zurücklegen, um den Lackfilm zu verlassen. Ebenso muß bei den oxidativ trocknenden Lacken der Sauerstoff ebenfalls längere Wege zurücklegen, um den Lackfilm vollständig durchzuhärten. Diese Trocknungsverzögerungen sind nicht einfach linear, d. h. doppelte Schicht entspricht nicht doppelter Trockenzeit. Die Abhängigkeit ist eher exponentieller Art, d.h. doppelte Schicht entspricht eher ca. vierfacher Trockenzeit. Die Zeit zum Erreichen der gewünschten Endeigenschaften, wie z. B. Haftung und elektrische Isolierung, wird deutlich länger und ist dann auch empfindlicher gegenüber Schichtdickenschwankungen, wie sie auf einer Baugruppe zwangsläufig gegeben sind. Diese Beschichtungen sind dann auch noch, bedingt durch die sogenannte Lösungsmittelretention, besonderes empfindlich gegenüber einer frühen Kapselung oder Klimabelastung. Hierzu möchten wir auch auf unser Referat-Nr. 150

"Schutzlacke und Vergußmassen als Beschichtungsstoffe für elektronische Baugruppen - Anwendungsgebiete, Anforderungsprofile, Verarbeitung -" hinweisen, das wir auf Anforderung gerne zur Verfügung stellen.

Eine zweite sich anbietende Lösung ist die Doppellackierung, die auch häufig praktiziert wird. Für sie gilt im Prinzip die gleiche Aussage. Die Prozeßzeiten verlängern sich deutlich. Bei einer schlechten Prozeßführung ergibt sich noch zusätzlich die Gefahr der Runzelbildung oder des "Hochziehens". Zudem sind diese Lösungen bezüglich der anstehenden VOC-Richtlinie<sup>1</sup> nicht als optimal zu betrachten, denn Sinn dieser Richtlinie ist es den Verbrauch an Lösungsmitteln zu erfassen und zu reduzieren.

Mögliche Lösungswege ergeben sich aus dem Ansatz festkörperreichere Lacksysteme einzusetzen. Aber auch bei festkörperreicheren Lacken ergibt sich eine verlängerte Trocknung, auch wenn weniger Lösungsmittel eingesetzt wird. Ein höherer Festkörper bei vergleichbarer Viskosität bedeutet ein niedrigmolekulares Harz und somit vom Grundsatz her eine langsamere Trocknung, da mehr Harzmoleküle zur Verfilmung verknüpft werden müssen. Auch hier verzögert die höhere Schichtdicke die Abgabe der Lösungsmittel aus dem Film. Eine technisch und ökologisch sinnvolle Lösung sind natürlich lösungsmittelfreie Beschichtungsstoffe. Ihre chemische Grundlage kennt man prinzipiell von den Vergußmassen und Gießharzen. Die Grenzen zwischen Gießharzen und Vergußmassen gegenüber Schutzlacken verwischen hier. Die Nachteile der Gießharze und Vergußmassen sind bekannt, es sind hauptsächlich 2-Komponenten-Systeme mit einer vergleichsweise zu den Schutzlacken deutlich höheren Viskosität und durch ihren 2-Komponentencharakter aufwendigeren Verarbeitung. Eine andere mögliche Lösung wäre die Pulverlackierung, allerdings benötigen diese Lackierungen hohe Temperaturen von über 130 °C zur Aushärtung, zudem ist die Benetzung feiner Strukturen und insbesondere die Unterfüllung von Bauteilen mangelhaft. Feuchtigkeitshärtende 1-Komponenten-Polyurethane stellen eine weitere Lösungsmöglichkeit dar, allerdings haben diese neben dem Nachteil der ebenfalls langsamen Trocknung und der Empfindlichkeit gegenüber Feuchte auf den Baugruppen eine deutlich eingeschränkte Lagerstabilität. Dies macht sich besonders dann bemerkbar, wenn die Gebinde mehrmals geöffnet werden müssen.

Bleiben noch die konventionellen UV-härtenden Lacke, diese zeichnen sich dadurch aus, daß sie sehr niedrigviskos sein können, in der Regel lösungsmittelfrei sind und besonders schnell trocknen. Allerdings besitzen sie einen erheblichen Nachteil: UV-Lacke trocknen nur in den Bereichen, wo die UV-Strahlung das Bindemittel direkt erreicht. In Schattenbereichen, also insbesondere unter den Bauteilen, findet zunächst keine Härtung statt und das Lacksystem bleibt dort klebrig und kann die geforderte Schutzwirkung nicht bieten. Im Gegenteil, diese Bereiche stellen nicht nur eine erhebliche Schwächung der Schutzwirkung dar, sie können unter Umständen gar zum Versagen der kompletten Baugruppe führen, insbesondere unter den Betrachtungen der verschärften Klimabelastungen, d. h. der Betauung. Häufig findet man daher bei solchen Produkten den Hinweis auf eine thermische Nachbehandlung meist bei Temperaturen oberhalb von 100 °C, mit der dann auch in Schattenbereichen eine Filmbildung initiiert werden kann. Dadurch ist die Verwendung solcher Systeme stark eingeschränkt bzw. nicht möglich.

---

<sup>1</sup> VOC = Volatile Organic Compound (flüchtige organische Verbindungen)

## 5. Die Baugruppenbeschichtung mit dem Twin-Cure®-System

Es ist daher besonders erfreulich und interessant, daß wir, die Lackwerke Peters, anlässlich der SMT-Messe in Nürnberg im April 2001 erstmals als „Weltneuheit“ einen Dickschichtlack mit der Bezeichnung

**Twin-Cure® DSL 1600 FLZ** (FLZ = fluoreszierend)

vorstellen konnten, der in der Summe seiner hervorragenden Eigenschaften zahlreiche Probleme beim Beschichten bestückter Leiterplatten eliminiert.

Das **Twin-Cure®**-System basiert auf dem Prinzip, daß zwei unterschiedliche – sich ergänzende – chemische Härtingsmechanismen bei der Trocknung ablaufen. Das **Twin-Cure®**-System erfährt im ersten Schritt eine UV-Trocknung und ist somit nach kürzester Zeit so getrocknet, daß es ohne Einschränkungen "gehandelt" werden kann. In einem zweiten langsameren Trockenschritt erfolgt – besonders in den Schattenbereichen, d. h. den Bereichen, in denen eine UV-Licht-initiierte Vernetzung nicht erfolgen kann – eine chemische Vernetzung durch die immer präsente Luftfeuchte. Mit diesem Vernetzungsmechanismus, der sogenannten PUR-Härtung, wird die in das Polymer eindiffundierende Luftfeuchte "abgefangen" und für eine Polymerisierung und weiteren Härtung des Lackes im Schattenbereich genutzt.

Die mit diesem Lacksystem in einem Beschichtungsvorgang erreichbaren Schichtdicken liegen im Bereich von ca. 200 µm bis zu 2.000 µm.



Twin-Cure® auf Bauteil 4-fach

Es kann hier zweifellos von einem echten Dickschichtlack gesprochen werden, der die Vorteile der erhöhten Beständigkeiten mit denen einer prozeßfreundlichen Trocknung verbindet. Je nach applizierter Schichtdicke kann dieser Dickschichtlack auch Bauteilfixierungen bezüglich eines Vibrationsschutzes übernehmen. Durch seinen dualen Vernetzungsmechanismus zeigt dieses Lacksystem einen deutlich geringeren Schrumpfung bei der Vernetzung als vergleichbare konventionelle UV-Systeme. Da es sich um einen lösungsmittelfreien Beschichtungsstoff handelt, bietet **Twin-Cure®** im Hinblick auf die kommende VOC-Richtlinie eine optimale Lösung verbunden mit einem besseren Schutz von Baugruppen.

Die Lücke zwischen konventionellen Schutzlacken und Vergußmassen wird sowohl aus wirtschaftlicher Sicht, als auch von der Schutzwirkung her betrachtet, geschlossen.

## 6. Applikation und Härtung

Die Applikation des **Twin-Cure**<sup>®</sup>-Schutzlacksystems ist prinzipiell mit allen gängigen Auftragsverfahren möglich.

Einige Besonderheiten sind jedoch zu berücksichtigen: So ist zum Beispiel die Verwendung des vor allem in Europa weit verbreiteten Select-Coat-Verfahrens aufgrund der hohen Lackviskosität nicht möglich. In den USA werden solche hochviskosen Medien häufig mit dem Swirl-Coat-Verfahren aufgetragen. Die mit relativ geringem Aufwand durchzuführende Umrüstung führt zu qualitativ hochwertigen Beschichtungen, die in einem weiten Schichtdickenbereich variabel sind.

Durch die Empfindlichkeit des Lacksystems gegenüber Feuchtigkeit müssen bei der Verarbeitung im klassischen Tauchverfahren Maßnahmen getroffen werden, um den Kontakt der Lackoberfläche mit der Luft zu vermeiden, z. B. durch die Verwendung von Schutzgas. Mit den am Markt befindlichen Systemen zur selektiven Tauchlackierung ist eine Verarbeitung problemlos möglich. Es sollte aber auch hier darauf geachtet werden, den Kontakt mit Feuchtigkeit zu vermeiden.

Die Härtung des **Twin-Cure**<sup>®</sup>-Systems kann mit üblichen UV-Trocknungsanlagen erfolgen. Es härtet schon mit einer vergleichsweise niedrigen Belichtungsenergie, z. B. lassen sich mit einer Energie von nur 1.500 mJ/cm<sup>2</sup> problemlos Schichtdicken von 0,8 bis 1,2 mm aushärten. Wird eine höhere Schichtstärke gewünscht, ist die Belichtungsenergie entsprechend zu erhöhen.

In Schattenbereichen härtet der Lack, wie beschrieben, mit Hilfe von Feuchtigkeit, wobei diese Reaktion je nach Layout nach 8 bis 14 Tagen abgeschlossen ist. Durch Erhöhung der Temperatur ist auch hier eine beschleunigte Härtung möglich.

## 7. Eigenschaften

Bei der chemischen Vernetzung laufen zwei unterschiedlich schnelle Vernetzungsmechanismen ab. Die zuerst stattfindende UV-Vernetzung ergibt extrem schnell einen mechanisch bereits belastbaren Schutzfilter, der von seinen elektrischen Isolationseigenschaften her betrachtet, die Anforderungen an einen Schutzlack bereits erfüllt. In den Schattenbereichen verläuft dagegen die Filmbildung nur über die PUR-Härtung. Diese Reaktion verläuft deutlich langsamer und ist je nach Umgebungsbedingungen nach ca. 8 bis 14 Tagen abgeschlossen.

Eigenschaft	Prüfmethode	UV + 14 Tage PUR-Härtung
Durchschlagfestigkeit	VDE 0303, Teil 2	90 kV/mm
Spezifischer Durchgangswiderstand	VDE 0303, Teil 3	5 x 10 <sup>13</sup> Ω/cm
Oberflächenwiderstand	VDE 0303, Teil 3	2 x 10 <sup>14</sup> Ω
Feuchtigkeitsbeständigkeit und Isolationswiderstand	IPC-CC-830, 3.8.1	> 1 x 10 <sup>9</sup> Ω
Kriechstromfestigkeit auf Basismaterial mit CTI 300	IEC 112 in Verbindung mit VDE 0109, Teil 2	CTI 600
Schwitzwassertest, 4 Tage, 60 °C, 40 V	in Anlehnung an DIN 50017	keine E-Korrosion bzw. Migration
WTS-Test, 5 Zyklen		keine Veränderung des Lackfilms
Dampftest, 60 min Lagerung		keine Veränderung des Lackfilms

Tabelle 2: Eigenschaften nach kombinierter UV + PUR-Härtung

Die oben genannten Werte beziehen sich auf einen Lackfilm von nur 200 - 300 µm Dicke. Bei höheren Schichtdicken werden noch bessere Werte erreicht.

Vor allem die Schweißwasserbeständigkeit des **Twin-Cure®**-Systems liegt deutlich über der von konventionellen Schutzlacken. Hierfür ist zum einen der vergleichsweise hohe Vernetzungsgrad, zum anderen die hohe Schichtdicke verantwortlich. Zudem wird jede vor der vollständigen Aushärtung eindringende Feuchtigkeit abgefangen und zur weiteren Vernetzung und damit "Vergütung" des **Twin-Cure®**-Systems genutzt. Auch die chemische Beständigkeit ist deutlich höher einzustufen. So sind **Twin-Cure®**-Filme durchaus beständig gegen konzentrierte Säuren und Laugen und andere aggressive Medien. Aufgrund der besonderen chemischen Struktur des verwendeten Bindemittels wird nach der kombinierten Härtung eine sehr gute Haftung auf den in der Elektronik üblichen Untergründen erreicht.

Ein weiterer Vorteil ist die höhere Temperaturbeständigkeit. Bei oxidativ härtenden Lacksystemen kommt es bei Betriebstemperaturen oberhalb von 130 °C zu einer erzwungenen weiteren Oxidation und damit Versprödung des Lackfilms. Dies äußert sich vor allem in einer massiven Braunfärbung und einer rapiden Abnahme der Kriechstromfestigkeit. Sie wird bis auf den Wert des Basismaterials abgesenkt. Dagegen zeigt **Twin-Cure®** selbst nach 300 Stunden Dauerlagerung bei 150 °C immer noch einen CTI-Wert von 600 und der Lackfilm zeigt nur eine minimale Vergilbung.

Zur besseren Kontrolle auf Vollständigkeit ist **Twin-Cure® DSL 1600 FLZ** fluoreszierend (Index FLZ) eingestellt. Die Fluoreszenz läßt sich mit den herkömmlichen UV-Kontrolllichtlampen prüfen.

Die nachstehende Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften dieses neuen Dickschichtbeschichtungssystems macht deutlich, daß mit **Twin-Cure® DSL 1600 FLZ** eine epochale Neuentwicklung gelungen ist:

- basiert auf einem hochwertigen Polymerisat aus Polyurethanharz (PUR) und Polyacrylatharz (AY)
- aufgrund der fluoreszierenden Einstellung (Index FLZ) kann die Beschichtung unter UV-Licht einfach und zuverlässig kontrolliert werden
- lösungsmittelfrei – eine technisch und ökologisch sinnvolle Lösung, auch im Hinblick auf die EU-VOC-Richtlinie (VOC = Volatile Organic Compounds – flüchtige organische Verbindungen)
- für Dickschichtapplikation in nur einem Beschichtungsvorgang bis 2000 µm geeignet
- grundsätzlich für alle gängigen Lackauftragsverfahren geeignet
- einfach zu handhabendes 1-Komponenten-System mit den Eigenschaften und Beständigkeiten eines 2-Komponenten-Systems
- schnelle UV-Härtung mit einer Strahlungsenergie von etwa 1500 mJ/cm<sup>2</sup>
- nach der UV-Härtung sofort mechanisch belastbarer Schutz mit elektrischen Isolationseigenschaften vorhanden

- härtet in Schattenbereichen durch fortschreitende chemische Vernetzungsreaktion mit der präsenten Luftfeuchte
- kurze Prozeßzeiten trotz hoher Schichtdicken aufgrund der sich ideal ergänzenden Härtungsmechanismen
- hervorragende Kantenabdeckung, ausgezeichnete Haftung und geringer Schrumpf
- exzellente Benetzung und Unterfüllung von Bauteilen
- hierdurch zusätzliche Fixierung der Bauteile
- die hohen Lackschichten garantieren nachhaltigen Schutz vor Vibration der Bauteile
- exzellente klimatische, chemische und mechanische Belastbarkeit und Beständigkeit, z. B. gegen Schwitzwasser und Betauung, Säuren, Laugen und andere aggressive Medien
- insgesamt hervorragende elektrische Eigenschaften (siehe Tabelle 2, Seite 9)
- besonders hohe Kriechstromfestigkeit mit CTI 600

## **8. Schlußbetrachtung**

Das neuartige Schutzlacksystem **Twin-Cure® DSL 1600 FLZ** bietet entscheidende Vorteile gegenüber herkömmlichen Schutzlacken. Es vereint die Vorteile einer schnellen UV-Härtung mit der Fähigkeit, auch im Schattenbereich durch weitere Reaktion zu vernetzen, in einem einfach zu handhabenden 1-Komponenten-System mit den Beständigkeiten eines 2-Komponenten-Systems. Es lassen sich auch Dickschichtapplikationen bei kürzesten Prozeßzeiten realisieren.

Die erreichbaren Schichtdicken liegen bei bis zu 2.000 µm. Es kann hier von einem echten Dickschichtlack gesprochen werden, der die Vorteile der erhöhten Beständigkeiten mit denen einer prozeßfreundlichen Trocknung verbindet. **Twin-Cure® DSL 1600 FLZ** bietet höchste Leistungsfähigkeiten bezüglich möglicher klimatischer, chemischer und mechanischer Belastungen auch wenn Reste feststoffarmer Flußmittel auf der Baugruppenoberfläche vorhanden sind. Wegen der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Flußmittel sind aber Vorversuche zu empfehlen. Da es sich um einen lösungsmittelfreien Beschichtungsstoff handelt, besteht im Hinblick auf die kommende VOC-Richtlinie bereits jetzt eine optimale Lösung verbunden mit einem besseren Schutz von Baugruppen. Je nach Schichtdicke kann dieser Dickschichtlack auch Bauteilfixierungen bezüglich eines Vibrationsschutzes übernehmen. Aufgrund der fluoreszierenden Einstellung kann die Lackschicht unter UV-Licht zuverlässig kontrolliert werden.