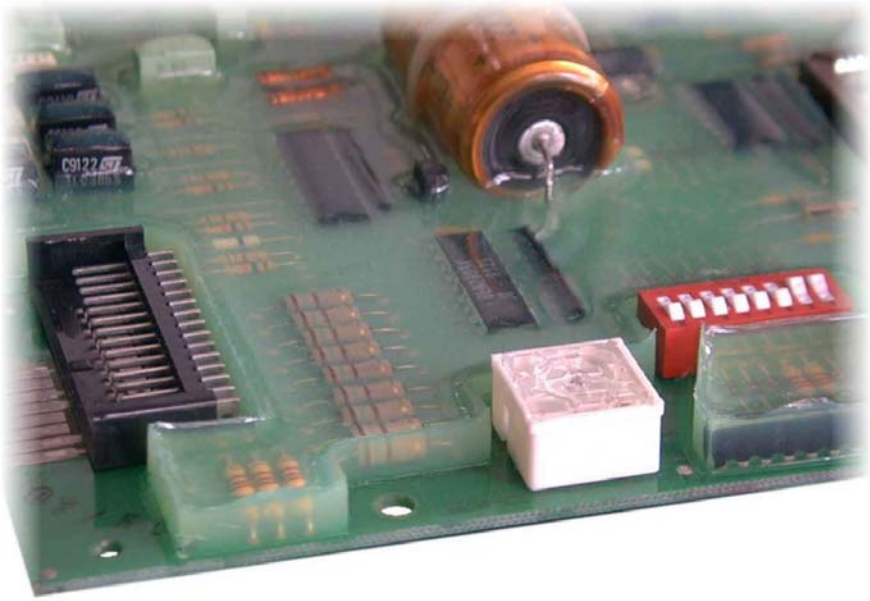
Praxis des Vergießens

Stoffe und Verfahren



Jens-Hendrik Klingel
KC-Produkte GmbH, Friolzheim

Otti Kolleg
„Vergießen in der Elektrotechnik und Elektronik“
06. November 2006
Würzburg

all-electronics.de
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG

Entdecken Sie weitere interessante Artikel und News zum Thema auf all-electronics.de!

Hier klicken & informieren!

Abstrakt
Das Referat beschäftigt sich nach kurzer Einführung in die Notwendigkeit des Vergießens mit den üblicherweise eingesetzten und neuen Vergußmassen. Die Verwendungsmöglichkeiten und die wichtigsten Stoffeigenschaften werden erwähnt. Anschließend werden Vergußmethoden und deren Wirtschaftlichkeit beleuchtet, sowie Vergußfehler und Wege zu deren Vermeidung erläutert.

Einführung
Der Verguss dient dem erhöhten elektrischen, chemischen und physikalischen Schutz der Flachbaugruppe. Im Gegensatz zur Lackierung, welche die Baugruppe konturerhaltend mit einem möglichst gleichmäßig dünnen Lackfilm überzieht (Engl. coformal coating), füllt der Verguss die Zwischenräume konturebnend aus. Diese Begriffsdefinition erleichtert die Zuordnung, da die Übergänge der Beschichtung vom Lackieren über das Dispensen zum Verguss fließend sind.

Elektronische Steuerungen regeln eine Vielzahl von Abläufen unseres täglichen Lebens, sei es im Privaten oder in der Arbeitswelt. Jedermann verlässt sich auf die sicher Funktion dieser Geräte und Anlagen unter den vorherrschenden, klimatischen Bedingungen. Zudem fordern wir Kunden immer mehr Funktionen von den Produkten ein, was die Elektronik zunehmend komplexer werden lässt, weiter integriert und an Einsatzorte gelangen lässt, wo sie bisher nicht zu finden war. Die Polymerbeschichtung (Lackierung und Verguß) bietet hierbei einen zuverlässigen Schutz vor den individuellen Ausfallursachen.

Der Verguß der Elektronik bewirkt durch die mehrere Millimeter weite Kapselung stromführender Elemente eine Abschottung von der Außenatmosphäre. Diese ist zwar nicht hundertprozentig, da die eingesetzten Werkstoffe permeabel sind. Der Schutzgrad ist aber ein deutlich höherer, als bei der bloßen Lackierung. Eingesetzt wird also der Verguß immer dann, wenn höhere und höchste Anforderungen an die klimatischen Bedingungen gestellt werden. Dies können sein: Schutz vor Migration, Vibration, Säuren, Nässe, Berührung, Explosion. Der Verguß wird aber auch dort eingesetzt, wo eine deutlich höhere Funktionssicherheit (z.B. Sicherheitstechnik) oder Lebensdauer (schwer zugänglicher Einbauort, keine Reparaturmöglichkeit) der Elektronik gefordert ist.

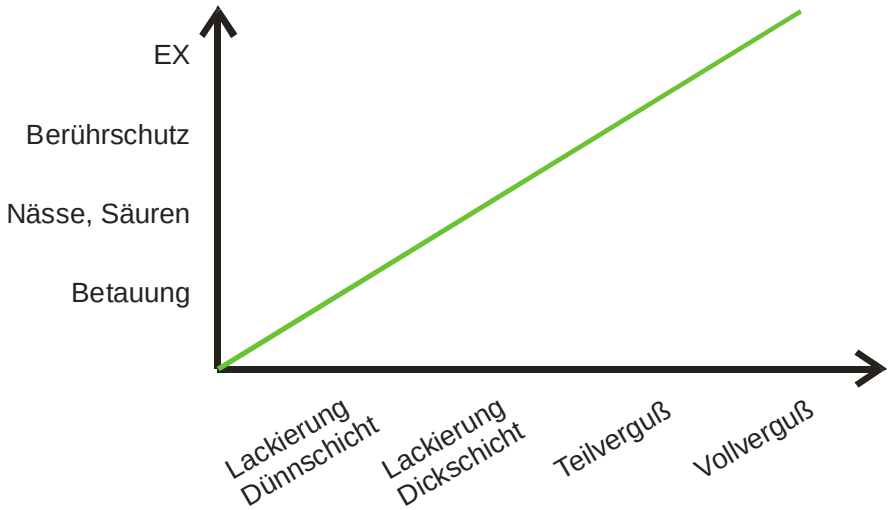


Abbildung 01: Schutzgrade und Schutzmethoden im Vergleich

Anwendungsgebiete des Vergusses finden sich in allen Branchen und Anwendungen, wie Bergbau, Chemieanlagen, Nutzfahrzeuge (Bagger, Kräne), Kraftfahrzeuge (Einparkhilfesensor, ABS-Steuerung), Aufzüge, Badeanstalten, etc. Der Einbauort und die dort zu erwartenden Schutzanforderungen sind entscheidend, ob eine Lackierung genügt, oder vergossen werden muß. Weniger Anwendung findet hingegen der Verguß in der Flugzeugindustrie, hauptsächlich wegen dem vergleichsweise hohen Gewicht eines Vergusses gegenüber der Lackierung.

Abbildung 02: Elektronik in klimatisch exponierter Umgebung

Im Falle des Berührungs- oder EX-Schutzes gibt es neben Gehäuselösungen kaum praktikable Alternativen zum Verguß mit einem Polymerkunststoff. Gerade im EX-Schutz gilt es, Zündquellen und heiße Oberflächen zu vermeiden, was sich durch die Überdeckung mit Vergußmasse bewerkstelligen lässt. Die Zündschutzart Vergußkapselung „EEX m“ sagt zum Beispiel aus: „Bei der Vergußkapselung wird der zündfähige Teil des Betriebsmittels in eine Vergußmasse eingebettet, dadurch kann keine explosive Atmosphäre an zündfähige Bauteile gelangen“. Der Explosionsschutz für elektrische Geräte ist in den Normen DIN EN 50014 bis 50028 und EN 60079 festgelegt. Dabei beschreibt die DIN EN 50014 die Grundlagen des Explosionsschutzes und die nachfolgenden Normen die einzelnen Zündschutzarten. Die EN 60079 beschreibt die Installation von Ex-Betriebsmitteln vor Ort.

Die allgemein in der Industrie gebräuchlichen IP-Schutzklassen (Systeme in schwierigen Umweltbedingungen bezüglich Berührung- und Fremdkörperschutz, Wasserschutz und Feuchtigkeit) können auch ab Klassifizierung IP4x eher durch Verguß denn durch Lackierung erreicht werden. Ab IP55 kommt man fast nicht umhin, die Elektronik vollständig zu kapseln.

Vergußwerkstoffe

Für den Verguß von Flachbaugruppen sind am Markt diverse Materialien erhältlich, deren Auswahl den Laien vor ein fast unlösbares Problem stellt. Zum einen müssen die chemisch-/physikalischen Eigenschaften des Harzes den erforderlichen Schutz in der Anwendung bringen. Zum anderen muß der Stoff gewisse Eigenschaften besitzen, die ihn verarbeitbar machen. Darunter fallen zum Beispiel die Viskosität, das Mischungsverhältnis und der Härtungsverlauf. Weitere Faktoren sind das Layout der Baugruppe und der zu schützende Bereich. Es kann lang nicht jeder Stoff nach jedem Verfahren auf jede beliebige Baugruppe appliziert werden. Letztlich entscheidet auch vorhandene oder zu beschaffende Anlagentechnik über die Wahl des geeigneten Materials.

In der Praxis wird bei der Materialwahl leider nicht immer Rücksicht genommen auf die obigen Gesichtspunkte, weswegen oftmals nach erfolgreicher Laborapplikation und Test die Umsetzung in Serie scheitert oder ungeplante Kosten verursacht.

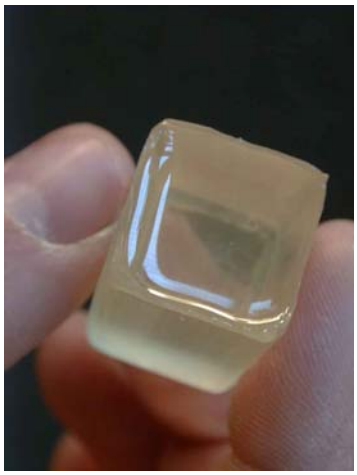


Abbildung 03: Vergußmasse

Unterscheiden lassen sich die Materialien am sinnvollsten schon nach ihrer chemischen Basis. Dabei werden in der Regel Duromere der Polyurethane, Silikone, Epoxide verwendet. In jüngster Zeit finden aber auch thermoplastisch verarbeitete Stoffe, wie Polyamid und Wachse einen immer größeren Einsatz. Die erstgenannte Gruppe wird in der Regel aus zwei Komponenten im spezifischen Verhältnis gemischt und reagiert unter Bildung langer Molekülketten aus. Die zweite Gruppe wird lediglich unter Energiezufuhr in Form von Wärme verflüssigt. Sie verfestigt sich bei Energieabgabe reversibel durch Änderung des Aggregatszustandes. Durch diese Einteilung bringen die Stoffe schon unterschiedliche Endeigenschaften und Verarbeitungsmöglichkeiten mit sich.

Stoffgruppe	*Eigenschaften/Bemerkungen*
Polyurethan PUR	Pro: Klassische, günstige 2-k Vergußmassen, von hart bis weich-elastisch. Contra: Eingeschränkte Beständigkeit, z.T. feuchtigkeitsempfindlich
Silikon, SI	Pro: Sehr weiter Temperatureinsatzbereich, hohe Beständigkeit. Contra: In gewissen Applikationen wegen Silikonverbot verbannt, große Volumenzunahme mit Feuchtigkeit
Epoxid, EP	Pro: Sehr gute Chemikalienbeständigkeit. Contra: Hart, starker Volumenschrumpf, hoher Wärmeausdehnungskoeffizient, teuer
Polyamid, PA	Pro: Guter Werkstoff für Gehäuseersatz. Contra: Hohe Temperaturen und Drücke bei der Verarbeitung
Wachs[1]	Pro: Reparabel, schonende Applikation, geringste Feuchtigkeitsaufnahme, günstig. Contra: Bei Raumtemperatur weich verformbar

Tabelle 01: Stoffgruppen und Haupteigenschaften

Weitere Kriterien, die für die Stoffwahl entscheidend sein können, sind zum Beispiel Freigaben und Zertifikate. Die üblicherweise wichtigste Einstufung ist die Prüfung zur Nichtbrennbarkeit nach Norm UL-94. Deren beste Einstufung V0 wird von manchen am Markt verfügbaren Vergußmassen erfüllt und nach bestandener Prüfung per offiziellem Zertifikat, der sogenannten *yellow card*, bestätigt. Gefordert wird diese Norm überwiegend beim Export von Waren, hauptsächlich in den US-Amerikanischen Raum.

Bei Elektronikschaltungen, die unter starker Wärmeentwicklung Verlustleistung abgeben, kann die Wärmeleitfähigkeit des Polymers eine entscheidende Rolle spielen. Primär sind Vergußmassen in der Gruppe der Kunststoffe, also Isolatoren angesiedelt, und daher schlechtere Wärmeleiter, als die Metalle. Jedoch hat beim vergossenen Teil die Kunststoffmasse das Vermögen, Energie besser aufzunehmen und abzugeben, als umgebende Luft beim unvergossenen Teil. Sollte aber die Verlustenergie sehr hoch sein, empfiehlt sich die Auswahl eines speziell wärmeleitfähig eingestellten Materials.

Durch den dicken Materialauftrag beim Verguß kann die Farbeinstellung eine entscheidende Rolle spielen. Sollen zum Beispiel LEDs eingegossen werden, so wählt man je nach gewünschtem Erscheinungsbild eine milchige bis klartransparente Masse aus. Im andern Fall, wenn die Elektronik vor neugierigen Blicken verborgen bleiben soll, oder das Endprodukt einen gewissen optischen Eindruck vermitteln soll, greift man zu undurchsichtigen, eingefärbten Materialien. Gerade im letzten Beispiel, bei dem häufig der Verguß als Gehäuseersatz dient, kann auch die Endhärte des Produktes sehr hoch gefordert sein, um eine gewisse Festigkeit zu gewähren (haptischer Eindruck) oder die Nachbearbeitung (Bohren, Fräsen) zuzulassen.

[1] Wachse stammen chemisch aus der Gruppe der Ester

Verarbeitung/Applikation

Vergüsse können generell in Teil- und Vollverguß unterteilt werden. Beim vollständigen Verguß ragen z.B. nur noch Anschlußkabel aus dem Polymer heraus. Der Teilverguß hingegen kann auf zwei Arten geschehen: A) Verguß bis zu einer gewissen Höhe, wobei Bauteile wie Stecker, LEDs, etc. aus ihm herausragen oder B) Verguß in Bereichen der Baugruppe, wozu wieder verwendbare Formen oder verbleibende Rahmen eingesetzt werden, um die Vergußmasse in selektiven Bereichen zu halten.

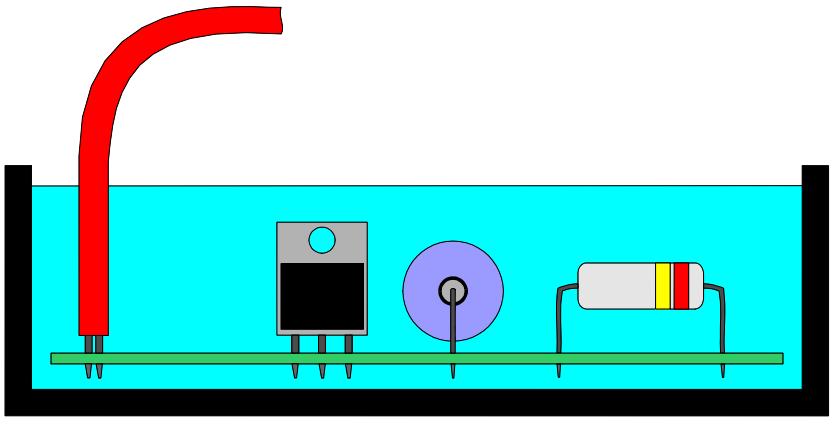


Abb. 04: Vollverguß im Gehäuse mit austretendem Kabel

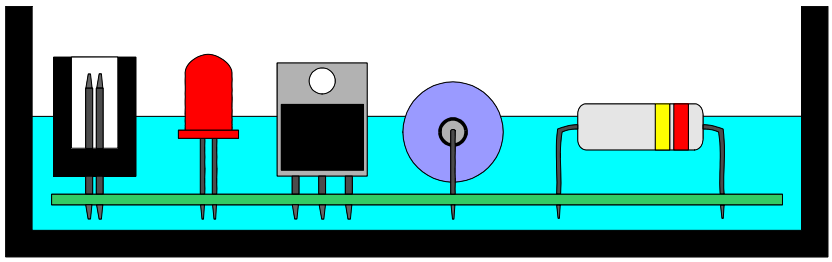


Abb. 05: Teilverguß im Gehäuse, Vergußhöhe bis unter Stecker/LED

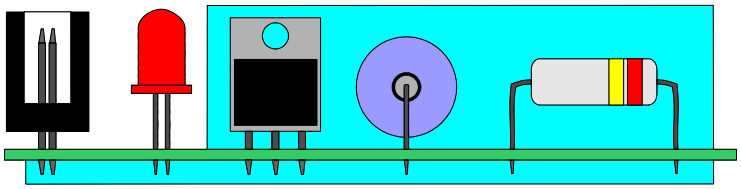


Abb. 06: Teilverguß mit Formen, selektive Bereiche

Abbildung 04-06: Prinzipdarstellung der Vergußmethoden

Die Vergußdurchführung stellt in der Regel höhere Ansprüche an das Engineering, als die Lackierung. Nur bei von vornherein optimierten Teilen ist ein automatischer, günstiger Verguß in großer Stückzahl möglich. Dann können auf CNC-gesteuerten Anlagen mehrere hundert bis tausend Teile am Tag gefertigt werden. Dazu muß allerdings die Bestückung und die Vergußmethode vorab im Design berücksichtigt werden. Wichtig ist beim Verguß zum Beispiel die Überlegung, wie die zum Teil langsam fließende Masse rasch eingebracht werden kann. Dazu muß auch die eingeschlossene Luft Wege finden, zu entweichen. Dies wird je nach Baugruppenlage (horizontal oder vertikal) und Anordnung der Hinterschneidungen erschwert. Als weiterer Faktor spielt hierfür die Viskosität der Mischung, welche über

Erwärmung des Vergußlings oder der Masse stark beeinflusst werden kann, eine entscheidende Rolle.

Abb. 07: Automatischer CNC-Verguß

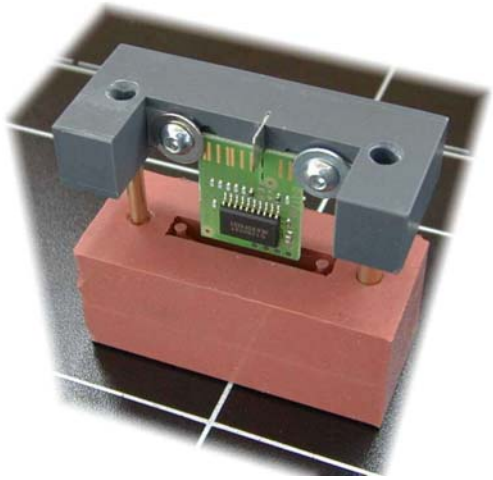


Abb. 08: Aufwendiger Formverguß in Halterungen

Beim Formverguß muß auf weitere Punkte Augenmerk gelegt werden. Außer beim Druckumspritzen in geschlossenen Formen müssen diese nämlich aufgelegt und abgedichtet werden, bevor der Verguß stattfinden kann. Eine Ausnahme bildet hier wiederum die Applikation solch zähflüssiger Massen, die nicht durch Luftspalte zwischen Form und Print herauskriechen. Ebenso kann der selektive Verguß mit verlorenen Formen stattfinden. Dies sind aufgeklebte und dabei abgedichtete Rahmen, die als Kunststoffspritzgußteil günstig in großen Mengen gefertigt werden können.

Bei sehr großen Verarbeitungslosen oder sehr großem Materialdurchsatz wird man sich für automatische Verarbeitungsanlagen entscheiden. Bei den klassischen, mehrkomponentigen Vergußstoffen werden Dosier- und Mischanlagen verwendet, welche das Harz mit dem Härter im stöchiometrischen Verhältnis zudosieren, statisch oder dynamisch mischen und in der gewünschten Ausstoßmenge zum Beispiel an einer Dosierspitze zum Ausfluß bringen.

Bei kleinen Produktionslosen oder geringem Materialverbrauch können Stoffe auch im Handansatz verarbeitet werden. Dazu werden in aller Regel die Zutaten auf Laborwagen im Gewichtsverhältnis der Reaktion zugewogen, in Mischern mit Flügelradrührer vermengt und danach unter Vakuumglocken von der eingerührten Luft befreit. Anschließend kann der Handansatz mittels Becher oder Spritze in die zu vergießenden Teile eingebracht werden.

Etwas anders läuft die Verarbeitung der thermoplastischen Stoffe ab, welche in Schmelzanlagen plastifiziert und anschließend an eine Dosierspitze gefördert werden. Beim Druckumspritzen wird die Masse dann in eine geschlossene Form mit dem Einlegeteil (elektronische Baugruppe) gepresst. Bei den drucklosen Verfahren strömt das Material an der Dosierspitze aus und fließt unter Normalatmosphäre in das Vergußteil.

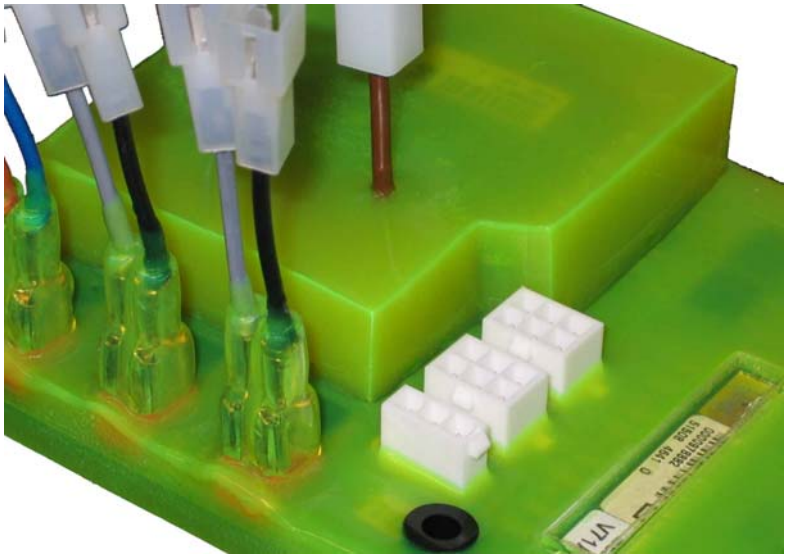


Abbildung 09: Druckloser Elektronikverguß in Formen mit Schmelzharz

Der Härtungsverlauf ist je nach eingesetzter Masse unterschiedlich. Stoffe mit einer kurzen Topfzeit (Zeitpunkt ab Mischung, bis zu der sich die Ausgangsviskosität verdoppelt hat) haben eine kurze Verarbeitungszeit. Stoff mit langer „offener Zeit“ brauchen wiederum sehr lange bis zum Erreichen der Endaushärtung. Auf jeden Fall ist der Härtungsverlauf temperaturabhängig. Neben der Verzögerung oder Beschleunigung durch Zugabe von Zusatzchemikalien kann bei vielen Stoffen die Kühlung oder Erwärmung denselben Effekt erzielen.

Bei den thermoplastischen Stoffen, den sogenannten Schmelzharzen, spricht man chemisch nicht von einer Reaktion der Masse, die ja einkomponentig ist. Ihr Härtungsverlauf ist rein temperaturabhängig und äußert sich durch Erstarren beim Übergang vom flüssigen in den festen Aggregatszustand.

In Spezialanwendungen, wie z.B. für die Luft- und Raumfahrt und Sensorik, kann die Blasenfreiheit im Verguß von entscheidender Bedeutung sein. Zur Erfüllung dieser werden die zu vergießenden Teile in speziellen Anlagen im Unterdruck befüllt. Für normale Anwendungen reicht die Füllung unter Normalatmosphäre aus. Die dort eingetragenen Luftblasen haben in der Regel keinen störenden Einfluß. Falls doch, können auch vergossene Teile nachträglich unter Vakuum davon befreit werden.

Vergußfehler/Probleme

Aufgrund der Vielfalt der eingesetzten Materialien, Stoffkombinationen, Baugruppendesigns und Applikationsmethoden sind die Fehler beim Verguß ebenfalls sehr unterschiedlich. Daher wird im Folgenden nur auf die hauptsächlich auftretenden Probleme, deren Ursache, sowie mögliche Vermeidung eingegangen.

Blasen im Verguß sind eine recht häufige Fehlererscheinung, die unterschiedliche Ursachen haben kann. Zum einen können Blasen schon während des Materialeintrags entstehen, in dem Luft unter Bauteilen und in Hinterschneidungen nicht rechtzeitig entweichen und durch Vergußmasse ersetzt werden kann. Die Luftblasen enthalten ein Mikroklima, das sich unter gewissen Umständen negativ auf die Funktion der Elektronik auswirken kann. Ferner fehlt an dieser Stelle die gewünschte Isolationswirkung des Polymers. Dagegen kann man vorgehen, in dem der Verguß schräg, langsamer oder bei erniedrigter Viskosität stattfindet. Die Vakuumbehandlung ist ebenfalls möglich, jedoch aufwendiger.

Die Blasen können aber gerade bei Verwendung eines Stoffes aus der Gruppe der Polyurethane auch eine chemische Reaktion zur Ursache haben. Diese Materialien reagieren zum Teil empfindlich bei Kontakt mit Feuchtigkeit unter Entstehung von Kohlendioxid. Die Feuchtigkeit stammt aus der Umgebungsluft oder haftet dem zu vergießenden Substrat an. Diesem Problem beizukommen ist nur möglich, wenn die Baugruppen vor dem Verguß getrocknet und während der Härtung trocken gehalten werden. Die Trocknung geschieht dabei am wirkungsvollsten in Trocknungskammern mit chemischem Trocknungsmittel. Die Trocknung mittels Erwärmung der Baugruppe hat nur einen kurzfristigen Effekt und wirkt lediglich bei schnellhärtenden Systemen.

Abb. 10: Luftblasen im Verguß

Abb. 11: Aufschäumen durch CO_2-Bildung

Häufig treten, nicht nur beim manuellen Materialansatz, Härtungsprobleme auf. Sie äußern sich in zu weichen Vergußzonen oder gar flüssiggebliebenem Material und lassen sich sehr wahrscheinlich auf ein Mischungsproblem zurückführen. Bei der Mischung im Handansatz kann zum Beispiel das falsche Mengenverhältnis von Harz und Härter abgewogen worden sein. Es ist aber auch möglich, daß die richtige Mischungsmenge nicht sorgsam, lang genug oder überall im Rührbehältnis (tote Ecken) durchmengt wurde. Nur wenn die Reaktionspartner Harz und Härter sich im

stöchiometrischen Verhältnis begegnen, kann danach eine ideale Härtungsreaktion stattfinden. In diesem Fall bekommt das fertige Produkt die gewünschten und im Datenblatt gelisteten Endeigenschaften.

Es können auch bei maschineller Verarbeitung Härtungsprobleme auftreten, die sehr oft auf anlagenspezifische Ursachen zurückzuführen sind. Zum Beispiel kann die Vergußmasse sich bei längeren Stillstandszeiten der Maschine aufgrund unterschiedlicher Viskositäten beider Komponenten wieder entmischen. Ferner können Anlagen, welche die Mischung via Kniehebelzylinder fördern im Umkehrpunkt der Mechanik ein abweichendes Mischungsverhältnis liefern, etc.

Neben den Problemen, die während der Vergußdurchführung oder Härtung auftauchen, gibt es auch Dinge, die erst in der Funktion des vergossenen Gerätes auftreten. Die Vergußmasse ist dann in aller Regel falsch ausgewählt worden, wenn sie die erforderliche Wärmeleitung nicht erfüllt oder zu hart ist und Bauteile durch interne Spannungen beschädigt. Letzter Fall kann zu Bauteilbrüchen mit Funktionsausfall oder Spannungsrissen im Material führen, welche wiederum Feuchtigkeit zur Elektronik gelangen lassen und dadurch Migrations- und Korrosionsausfälle induzieren können.

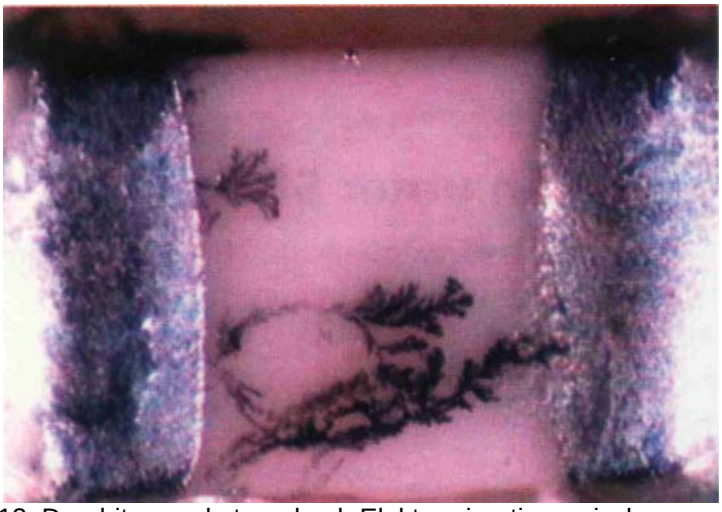


Abbildung 12: Dendritenwachstum durch Elektromigration zwischen zwei Bauteilen

Abschließend kann empfohlen werden, früh in der Entwicklungsphase der elektronischen Baugruppe den Verguß mit einzuplanen. Spezialisten geben hierzu beratend Hilfestellung, um spätere Probleme und Kosten einzusparen. Zum Produktionsstart sollten im Vorfeld Vergußversuche gefahren und der dauerhafte Klimaschutz durch ausreichende Tests belegt worden sein. Zu guter letzt kann dann die Entscheidung „make or buy“ mit ruhigem Gewissen getätigt werden, wenn das Engineering erfolgreich abgeschlossen wurde.

Herr Jens-H. Klingel ist Geschäftsführer der Firma KC-Produkte GmbH, die sich seit 30 Jahren um den Klimaschutz elektronischer Baugruppen kümmert. Angeboten werden Beschichtungsanlagen von batch bis inline, sowie die Lohnbeschichtung (Lackierung und Verguß).