Verarbeitung von Gießharzen auf Basis von Polyurethan

Michael Müller • Oliver Bartels • Michael Piepho

Viele technische Anwendungen in verschiedenen Branchen erfordern einen Schutz von Bauteilen gegen Umwelteinflüsse, Störungen elektrischer sowie mechanischer Art und vor Manipulation. Vielfach kann dieser Schutz durch den Einsatz von Vergussmassen erreicht werden. Die chemische Basis der meisten Gießharzsysteme sind Polyurethane und Polyurethan-Epoxid-Mischsysteme. Die Eigenschaften dieser Kunststoffe lassen sich in weiten Grenzen variieren, was eine optimale Anpassung der Vergussmasse an viele Aufgabenstellungen ermöglicht. Im Folgenden soll auf die chemischen Grundlagen der Polyurethane eingegangen werden. Anschließend werden an Beispielen mögliche Fehlerquellen beim Verguss und Maßnahmen zur Fehlervermeidung aufgezeigt.

Polyurethangießharze sind Zweikomponentensysteme, die aus einer Harz- und einer Härterkomponente bestehen [1]. Die Harzkomponente ist aus so genannten Polyolen, welche häufig mit Füllstoffen und verschiedenen Additiven ausgerüstet werden, aufgebaut. Polyole sind Verbindungen höherer Molekularmasse, deren chemische Basis meistens Polyester oder Polyether sind. Ihr Charakteristikum ist dabei ihre funktionelle Gruppe, die Hydroxy- oder auch Alkoholgruppe, von der sie je nach Polyol unterschiedlich viele tragen.

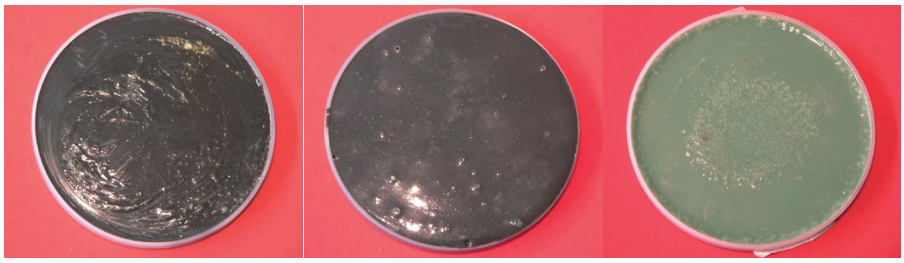

***Bild 1**. Typische Fehlerbilder, wie sie bei der manuellen Verarbeitung von Giessharzsystemen auftreten können: Schlieren (links) deuten auf ungenügende Mischung der Komponenten hin, Luftblasen (Mitte) können beim Mischen eigerührt werden und Schaumbildung (rechts) entsteht durch Feuchtigkeit im Material*

Die Härterkomponente eines Polyurethangießharzes besteht aus so genannten Isocyanaten. Diese chemischen Verbindungen tragen als funktionelle Gruppe die Isocyanatgruppe, der sie auch Ihren Namen verdanken. Die Härtung der Polyurethane zu polymeren Kunststoffen beruht auf einer chemischen Reaktion der Alkoholgruppe des Harzes mit der Isocyanatgruppe des Härters. Im Gegensatz zu Kettenreaktionen (Polymerisationen), bei denen es ausreicht, die Reaktion an einer Stelle der Grundmasse auszulösen, ist es beim polyadditionsvernetzenden Polyurethan notwendig, die Reaktionspartner durch homogene Mischung in „räumliche Nähe“ zu bringen.

Eine für Gießharze meistens unerwünschte Eigenschaft der Isocyanatgruppe ist ihre Reaktionsfähigkeit mit Wasser. Reagieren beide Stoffe, kommt es zur Bildung von gasförmigem Kohlendioxid (CO_2) in der Reaktionsmasse. Ausdrücklich erwünscht ist diese Reaktion bei der Herstellung von Schaumstoffen, wo das entstehende CO_2 die schäumende Komponente darstellt. Tritt diese Reaktion hingegen bei der Bildung von Vergussmassen auf, so entstehen mehr oder weniger stark von Blasen durchsetzte Formkörper. In manchen Fällen kann sich anstelle einer massiven Vergussmasse ein regelrechter Schaum entwickeln. Die Folge ist ein Verlust der gewünschten mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Vergussmasse. Aus diesem Grund wird der Harzkomponente eines Polyurethangießharzes eine Wasser-bindende Substanz, ein so genanntes Zeolith, zugesetzt. Geeignete Zeolithe haben eine hohe Affinität zu Wasser, binden dieses an sich und sorgen so für eine störungsfreie Reaktion der Polyole der Harzkomponente mit den Isocyanatgruppen der Härterkomponente zu Polyurethan. Moderne Polyurethansysteme zeichnen sich durch gute Verarbeitungseigenschaften und moderate Reaktionsverläufe aus. Werden einige grundsätzliche Verfahrensrichtlinien bei der Verarbeitung eingehalten, so sind die Vergießergebnisse von hoher Güte und die Eigenschaftswerte der Formstoffe reproduzierbar.

Vergießen von Hand

Bei der einfachsten Form des Vergießens werden beide Komponenten aus

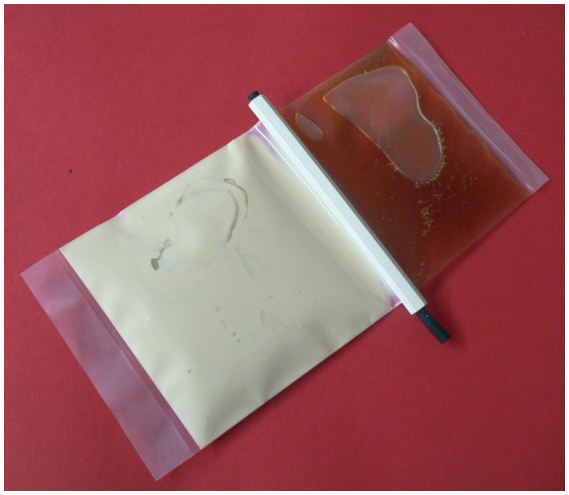

***Bild 2**. Vergussmasse im Mischbeutel*

***Bild 3**. Standard-Material für verschiedene Verguss- und Klebeanwendungen in einer Doppelkartusche*

Verkaufsgebinden in ein Behältnis im vorgeschriebenen Mischungsverhältnis eingewogen und von Hand vermischt. Handverguss findet Anwendung auf Baustellen, bei Kleinserien, Einzelanfertigungen oder Probeverguss. Neben der Beachtung des korrekten Mischungsverhältnisses muss darauf geachtet werden, dass beide Komponenten homogen vermischt sind (schlierenfrei) und keine Luft eingerührt wird. Nachdem das Material sorgfältig gemischt wurde, ist darauf zu achten, dass es innerhalb der vom Hersteller angegeben Topfzeit vergossen wird. Nach Überschreiten der Topfzeit ist die Viskosität des Harzes bereits so sehr angestiegen, dass Lufteinschlüsse bei den zu vergießenden Bauteilen unvermeidlich sind, wenn weiter vergossen wird.

Typische Fehler

Bei der Verarbeitung per Hand sind prinzipiell drei typische Fehler möglich (**Bild 1**). Werden beide Komponenten nicht ausreichend homogen vermischt, kommt es im vergossenen Harz zu Schlieren. Diese können aber auch bei Unverträglichkeit von Harz und Härter auftreten. Verhindern kann man diesen Fahler, indem man mit einem flachen, in seinen Abmessungen der Rührgefäßgröße angepaßten Rührstab (Linealform) in gleichförmiger Kreisbewegung so lange rührt, bis das Material frei von Schlieren ist. Wenn gefüllte oder pigmentierte Gießharze verarbeitet werden muß die Harzkomponente vor Zugabe des Härters sorgfältig aufgerührt werden. Bei anfänglicher Unverträglichkeit von Harz und Härter muß so lange weiter gemischt werden, bis die Reaktion einsetzt (Wärmeentwicklung). Eine Entmischung der Komponenten wird so verhindert.

Sind im ausgehärteten Harz größere Luftblasen sichtbar, deutet dies darauf hin, dass beim Mischen der Komponenten Luft eingerührt wurde. Beim Mischen sollte daher zwar gründlich und ausreichend lange, aber langsam mit gleichförmiger Kreisbewegung die Komponenten verrührt werden. Sollten trotzdem einige wenige Luftblasen im vergossenen Bauteil zu sehen sein, können diese innerhalb der Verarbeitungszeit durch Befächeln mit Warmluft entfernt werden.

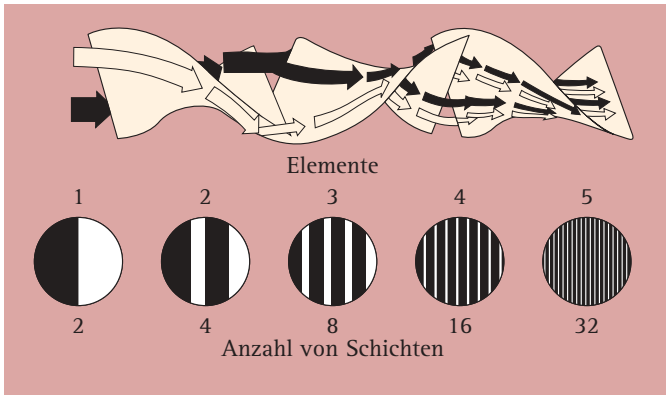

***Bild 4**. Schematische Darstellung der Funktionsweise eines statischen Mischrohrs*

Viele kleine schaumartige Blasen deuten auf Feuchtigkeit im Material hin. Werden Verkaufsgebinde nach Anbruch luftdicht verschlossen oder innerhalb eines Arbeitstages aufgebraucht, tritt dieser Fehler nur selten auf. Der Anwender sollte auch darauf achte, nur trockene Bauteile zu vergießen und die Kondensation von Luftfeuchtigkeit auf den Bauelementen zu verhindern.

Manuelle Verarbeitungssysteme

Sollte das Mischen von Hand mittels Rührstab aufgrund der angestrebten Seriengröße nicht praktikabel sein, so hat der Anwender die Möglichkeit auf eine Art Zwischenlösung zwischen Hand- und Maschinenverarbeitung zurückzugreifen. Hierfür werden Polyurethan-Vergussmassen in so genannten Arbeitspacks angeboten (**Bild 2**).

Im Doppelkammer- oder Zweikammerbeutel sind beide Komponenten bereits im richtigen Mischungsverhältnis eingewogen. Zur Verarbeitung wird die Trennschiene entfernt und der Beutel so lange geknetet, bis eine homogene Mischung entstanden ist. Anschließend wird der Beutel an einer Ecke aufgeschnitten und die Gießmasse direkt ins Bauteil gefüllt. Doppelkammerbeutel werden sinnvoll in Größen von ca. 100 ml bis 2 500 ml eingesetzt. Die Seriengröße ist begrenzt, weil die Beutel von Hand geknetet werden müssen. Da die Komponenten bereits abgewogen sind, werden Einwiegefehler ausgeschlossen. Zum Mischen wird das Material im geschlossenen Beutel geknetet, der Lufteintrag wird so auf ein Minimum reduziert. Eine Mischkontrolle ist möglich, wenn der Knetbeutel transparent ist und Harz sowie Härter verschiedene Farben aufweisen. Wenn das Gemisch schlierenfrei ist, kann man davon ausgehen, dass die Mischung homogen und damit vergussfertig ist.

Eine weitere manuelle Mischmethode ist die verwendung von Doppelkartuschen. Die Zylinder der Doppelkartuschen können parallel oder koaxial angeordnet sein (**Bild 3**). Durch Kombination unterschiedlicher Zylinderdurchmesser lassen sich verschiedene Mischungsverhältnisse realisieren. Zur Verarbeitung wird die mit Vergussmasse befüllte Kartusche in eine entsprechende Austragpistole gelegt, ein Mischrohr aufgeschraubt und durch Betätigen des Ab-

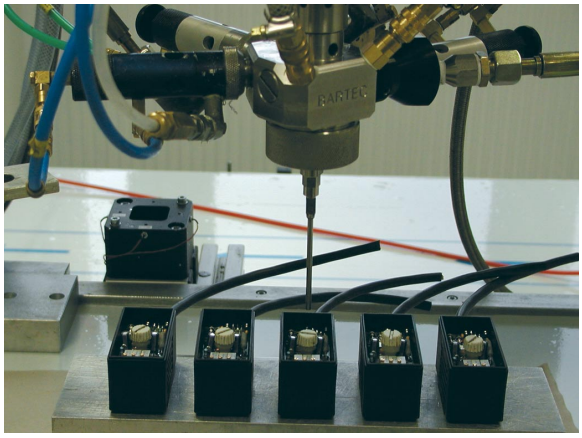

Bild 5. *Dynamischer Mischer zum automatisierten Verguss*

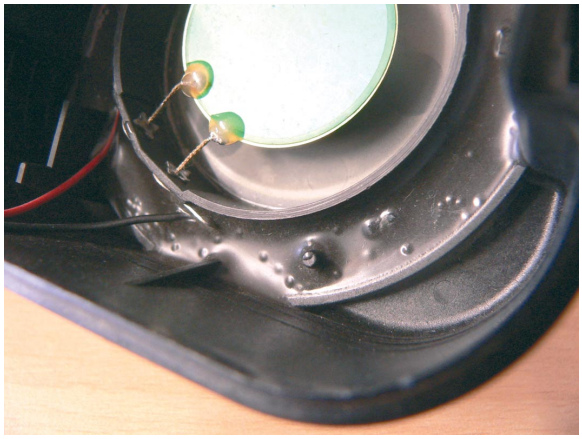

Bild 6. *Luftblasen können auch beim Maschinen-Verguss auftreten, wenn die Voratsbehälter mit Druck beaufschlagt werden*

zughebels das Material ausgetragen. Doppelkartuschen können ab 40 ml bis hin zu 1 000 ml Volumen bezogen werden.

Werden die Komponenten durch das statische Mischrohr (**Bild 4**) gefördert, so werden sie entsprechend der Anzahl der Mischstufen immer wieder getrennt, um 90° gedreht und wieder zusammengeführt. Das Material wird auf diese Weise gemischt. Sowohl die Anzahl der Mischwendel als auch der Durchmesser des Rohres müssen in Abhängigkeit von Viskosität und Mischungsverhältnis der verwendeten Vergussmasse sowie der angestrebten Austraggeschwindigkeit optimiert werden. Besonderes Augenmerk muss jedoch auf die Auswahl eines geeigneten Mischrohres gelegt werden. Grundsätzlich ist das Mischergebnis bei Verwendung langer Mischrohre mit vielen Mischwendeln besser, die Handhabbarkeit beim Verguss kleiner Bauteile wird jedoch schlechter. Die Reaktivität der Masse muss langsam genug sein, damit die Masse nicht bereits im Mischrohr geliert. Wie beim Doppelkammerbeutel sind Einwiegefehler bei Verwendung von Doppelkartuschen ausgeschlossen. Auch Lufteintrag beim Mischen ist beim Einsatz solcher Systeme unwahrscheinlich. Neben manuellen Austragpistolen sind auch pneumatisch betriebene Austraggeräte erhältlich. Sind diese Austraggeräte mit Zeitsteuerung versehen, so können sogar einfache Dosieraufgaben erledigt werden.

Maschinen-Verguss

Für den Verguss von Bauteilen in Mittel- und Großserie werden Misch- und Dosieranlagen verschiedener Hersteller eingesetzt. Im Grundsatz ist der Aufbau solcher Anlagen immer gleich. Über Dosierpumpen, die als Kolben- oder Zahnradpumpen ausgeführt sein können, werden Harz und Härter im vorgegebenen Mischungsverhältnis zum Mischkopf gefördert. Die Pumpen werden über eine Steuerung so lange betrieben, bis die gewünschte Menge Vergussmasse in das zu vergießende Bauteil gefördert wurde. Im Mischkopf werden Harz und Härter zusammengeführt.

Lediglich die Mischer der einzelnen Hersteller unterscheiden sich deutlich. Unterschieden wir dabei zwischen statischen Mischern, die wie oben beschreiben funktionieren, statisch dynamischen Mischern, bei denen die Mischwendel im Mischrohr rotiert, und dynamischen Mischern, die nur die Rotation des Mischorgangs zur homogenen Mischung der beiden Komponenten führt (**Bild 5**). Die Komponenten werden im einstellbaren Mischungsverhältnis im Mischkopf zusammengeführt und in der Mischkammer homogen vermischt. Das Totvolumen in der Mischkammer ist klein; dadurch ist es gegenüber statischen Mischern leichter möglich, auch schnell härtende Vergussmassen in kleinvolumigen Bauelementen zu verarbeiten.

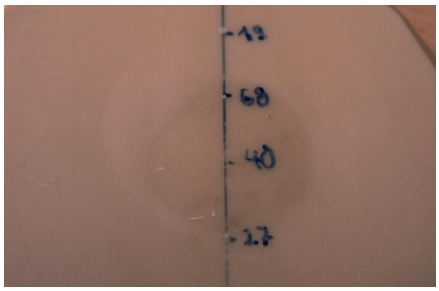

Bild 7. *Der Härterüberschuss ist durch die unterschiedliche Farbe deutlich zu erkennen*

Je nach Seriengröße und zur Verfügung stehendem Budget können die Anlagen mehr oder weniger umfangreich durch Zubehör ergänzt werden. Das Zubehör kann eine schnellere Verarbeitung ermöglichen, z. B. sind Dreiachssysteme sowie Roboterarme gebräuchlich, um mehrere Vergießpositionen zu erreichen. Drucküberwachungseinrichtungen, Füllstandsmesser in den Vorratsgefäßen, sowie Mengendurchflussmesser in den Produktförderleitungen dienen der Qualitätssicherung. Im Einzelfall muss der Anwender je nach Qualitätsanforderung entscheiden, wie umfangreich die zu beschaffende Vergießanlage ausgestattet sein muß.

Mögliche Fehlerquellen

Auch beim Maschinen-Verguss können Fehler auftreten. Durch Betrachtung der Fehlerbilder und Berücksichtigung des Mischprinzips, können in den meisten Fällen bereits Rückschlüsse auf die mögliche Fehlerursache gezogen werden. Sowohl Harz- als auch Härtertanks werden häufig druckbeaufschlagt, damit die nachgeschalteten Pumpen weniger Förderleistung zu erbringen haben und als reine Dosierpumpen arbeiten. Dosierfehler können so minimiert werden. Wird nun der Behälter dauerhaft mit Druck beaufschlagt oder beim Aufrühren der Druck nicht vom Behälter genommen, so wird die Harz- oder Härterkomponente mit Luft beladen. Bei Austritt der luftbeladenen Vergussmasse aus dem Mischer wird die Masse entspannt, die Luftbläschen expandieren und sind als nicht gewünschte Lufteinschlüsse sichtbar (**Bild 6**). Wird der Behälter mit nicht ausreichend getrockneter Luft beladen, wird der Effekt durch eingetragene Feuchtigkeit noch verstärkt.

Bestehen zwischen Harz und Härter große Viskositätsunterschiede und sind extreme Mischungsverhältnisse eingestellt, so können die Druckverhältnisse in den Leitungen der Vergießanlage so stark von einander abweichen, dass am Beginn des Dosiervorganges eine der beiden Komponente in den Mischer vorschießt. Bei statischen Mischern werden so unvermischte Mengen Harz oder Härter in das Bauteil gefördert.

Beim Einsatz statisch-dymamischer oder dynamischer Mischer äußert sich der Fehler durch unterschiedliche Härten in

einem Bauteil. In **Bild 7** ist der Härterüberschuss aufgrund des deutlichen Farbunterschieds sogar optisch erkennbar. Messungen an der Vergussprobe zeigen, daß die Härte im Fehlerbereich der Probe um 100 % vom Sollwert (Shore D 40 statt D20) abweicht. Um diese Fehler zu verweiden, sollte bereits bei der Anschaffung der Vergießanlage in enger Zusammenarbeit mit Maschinenhersteller und Vergussmassenhersteller die Anlage für die jeweilige Aufgabenstellung optimiert werden. Kleinere Anschussfehler können oft schon durch Variation der Austragsleistung eliminiert werden.

Bei Verwendung statischer Mischrohre kann nach längeren Arbeitspausen das Material im Mischrohr teilweise ausgehärtet sein. Nach erneuter Aufnahme der Arbeit mit der Vergießanlage können Gelpartikel die Mischkanäle teilweise verschließen. Als Folge verlieren die betroffenen Mischstufen ihre Wirkung. Sind mehrere Mischstufen betroffen, wird die Vergussmasse nur noch ungenügend gemischt (**Bild 8**). Bei statisch-dynamischen Mischern kann entweder das Überschreiten der zulässigen Pausenzeit oder ein Defekt im Antrieb der Mischwendel zu solchen Fehlern führen.

Bei modernen Anlagen lässt sich je nach Ausstattungsgrad die Topfzeitüberwachung des eingesetzten Materials einstellen. Wird diese Zeit überschritten, sendet die Steuerung ein Warnsignal oder löst einen Blindschuß aus. Dabei wird eine definierte Menge Vergussmasse in ein Auffanggefäß dosiert und die Mischeinheit regeneriert.

Liegt der Mischfehler in einer anfänglichen Unverträglichkeit der Systemkomponenten begründet, so kann bei Anlagen mit statischem Mischrohr und genügend langer Verarbeitungszeit der Vergussmassen folgendermaßen Abhilfe geschaffen werden. Im Anschluss an das Mischrohr wird ein Schlauchstück montiert und danach das Material nochmals durch ein statisches Mischrohr geleitet.

Die Zeitspanne, die das Material im Schlauchstück verweilt muss so bemessen sein, dass das Material anreagiert ist. Nach nochmaligem Mischen werden sich die Komponenten dann nicht mehr entmischen. Bei sorgfältiger Materialauswahl während der Planungsphase können Unverträglichkeiten von Harz und Härter bereits im Vorfeld ausgeschlossen werden.

Vergießprobleme aufgrund ungünstiger Bauteilgeometrie

Befinden sich in den vergossenen Baugruppen Bauteile, deren Unterseite konvex geformt ist, so wird eine eingeschlossene Luftblase problemlos an die Oberfläche der Vergussmasse streben und platzen. Ist die Unterseite eines Bauteils jedoch eben oder konkav ausgebildet, so ist die Entlüftung problematisch (**Bild 9**). Werden die zu vergießenden Bauteile jedoch vor Serienfertigung auf nach oben beschriebenen Problemstellen durchsucht und eine entsprechende Vergießmethode festgelegt, können Lunker leicht vermieden werden.

***Bild 8**. Die Blasen beruhen auf Reaktion unvermischter Härtermengen mit Luftfeuchtigkeit. Daneben findet man klebrige Zonen mit Harzüberschuss*

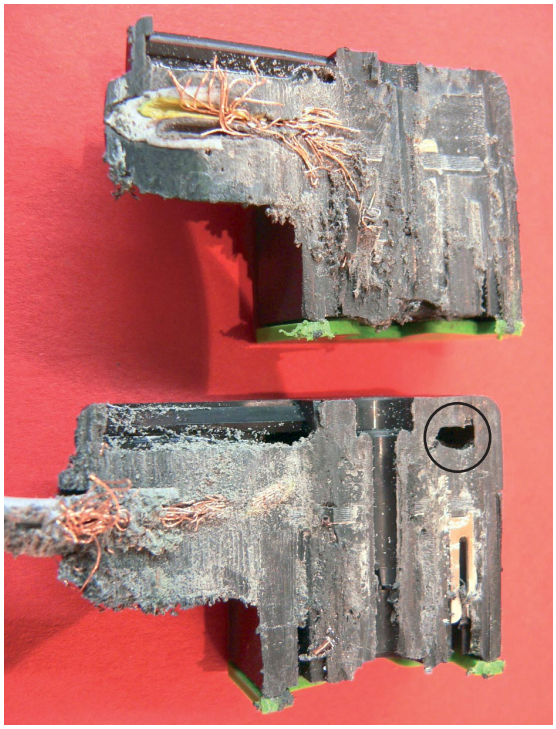

***Bild 9**. Bauteil oben in Ordnung, Bauteil unten mit Fehlstelle im Verguss*

Im gezeigten Beispiel wurde das Bauteil einmal in waagerechter Position und einmal in schräger Position vergossen. Bei waagerechtem Verguss entstanden häufig Lunker an der markierten Position. Allein durch Vergießen des Bauteils in schräger Position konnte die Lunkerbildung sicher verhindert werden. Bei konkaver Unterseite der Bauteile ist die Schräglage der Bauteile meist die einzige Möglichkeit, Lunkerbildung zu vermeiden. Bei ebener Unterseite der Bauteile besteht zusätzlich die Möglichkeit die vergossenen Bauteile innerhalb der Topfzeit, idealerweise sofort nach dem Verguss, kurz zu vibrieren. Dadurch steigen Blasen schneller auf.

Sofern die Bauteile dicht sind und genügend Pufferflächen zur Bauteillagerung vorhanden ist, kann auch die Verarbeitungszeit so verlängert werden, daß eine Entlüftung sichergestellt ist.

Durch Verlängerung der Topfzeit kann häufig auch die Haftung auf verschiedenen Untergründen verbessert werden. Bei schwer zu entlüftenden Bauteilen ist die Beimischung geeigneter Entlüfter im Harz empfehlenswert. Hierzu kann der Vergussmassenhersteller geeignete Produkte empfehlen oder schon während der Produktion den Entlüfter einarbeiten.

Zusammenfassung

Zwei-Komponenten-Vergussmassen auf Polyurethanbasis können sowohl von Hand als auch mit Vergießanlagen bei Beachtung weniger Verarbeitungsrichtlinien problemlos verarbeitet werden. Wird bei Verguss- und Anlagenplanung sowie bei anschließender Fertigung sichergestellt, daß die Komponenten der Vergussmasse homogen vermischt werden und Kontamination der Harze mit Feuchtigkeit sowie übermäßiger Lufteintrag vermieden, so werden die Vergießergebnisse stets zufriedenstellend sein. Um Probleme im Fertigungsprozess zu vermeiden, sollte schon in der Planungsphase besonderes Augenmerk auf die Optimierung der Vergussmasse und der Vergießanlage hinsichtlich des zu vergießenden Bauteils gelegt werden.

Literatur

[1] M. Piepho: Unverzichtbar – Vergussmassen für Elektrotechnik und Elektronik. etz Elektrotech. + Autom. 122 (2001) H. 16, S. 26-29