

AI 2/1: Verarbeitungshinweise für die fotostrukturierbaren Elpemer® Lötstopplacke

Diese Applikations-Information enthält ausführliche und vertiefende Informationen, die für eine sichere und zuverlässige Verarbeitung der fotostrukturierbaren Lötstopplacke **Elpemer®** unbedingt zu beachten sind, und ein optimales Beschichtungsergebnis zu ermöglichen.

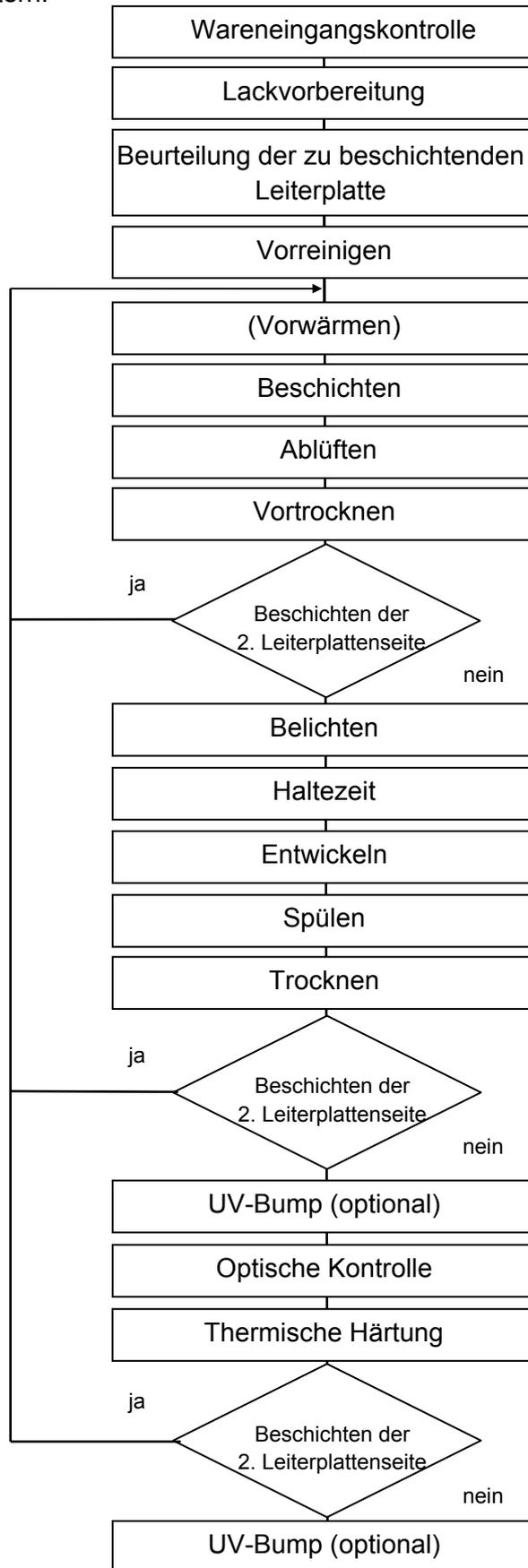
Die AI 2/1 gilt für alle fotostrukturierbaren **Elpemer®** Lacksysteme (Gieß-, Siebdruck- und Sprühlacke). Grundsätzlich sind die Hinweise zur Verarbeitung fotostrukturierbarer Systeme auch auf die **Elpemer®** Fotoresists und Signierlacke übertragbar.

Inhaltsverzeichnis

Schematische Darstellung des Prozessablaufes	2
Mitgeltende Unterlagen	3
Sicherheitshinweise	3
Schutz vor Sonnen- und UV-Lichteinstrahlung	3
Lackvorbereitung	3
Vorreinigen	5
Vorwärmen	5
Beschichten	6
Vorhanggießen	6
Siebdruck	8
Sprühen (konventionell oder elektrostatisch)	10
Doppelbeschichtungen	10
Ablüften	11
Vortrocknen	12
Anmerkung zum Umweltschutz	14
Belichten	14
UV-Strahler	15
Fotovorlage	16
Belichtungsenergie	17
Haltezeit	18
Entwickeln – Spülen – Trocknen	18
Entwicklermedien	18
Entwickeln	19
UV-Bump (optional)	22
Optische Kontrolle	23
Thermische Härtung (Endhärtung)	23
Literaturhinweise	24
Haftungsausschluss	24

Schematische Darstellung des Prozessablaufes

Genauere Parameter zu den einzelnen Verfahrensschritten entnehmen Sie bitte den jeweiligen Prozessdatenblättern.



Mitgeltende Unterlagen

	Bitte beachten Sie vor dem Einsatz des Produktes unbedingt dieses Merkblatt und die folgenden Druckschriften. Diese Druckschriften werden der ersten Lieferung bzw. Bemusterung beigelegt.
SDB	Das zugehörige Sicherheitsdatenblatt enthält detaillierte Angaben und Kennzahlen zu Arbeitssicherheit und Umweltschutz sowie zu Transport, Lagerung, Handhabung und Entsorgung.
PD	Das Prozessdatenblatt enthält produktspezifische Daten wie Kennzahlen und Haltbarkeit/Lagerbedingungen und Empfehlungen für Verarbeitungsparameter.
TM	Das jeweilige Technische Merkblatt enthält die Eigenschaften sowie Hinweise zu Hilfsprodukten und Standardverpackung.
TI	Technische Information TI 15/3 „Schutzmaßnahmen beim Arbeiten mit Chemikalien einschließlich Lacken, Vergussmassen, Verdünnungen, Reinigungsmitteln“
TI	Technische Information TI 15/10 „Verarbeitung von 2-Komponenten-Systemen“
TI	Technische Information TI 15/13 „Vorreinigung in der Leiterplattenfertigung“

Sicherheitshinweise

- Beachten Sie die allgemein üblichen Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Chemikalien.
- Sehen Sie die Absaugstellen der Quellenabsaugung am Arbeitsplatz in Höhe der Lösemittelquelle vor.
- Beachten Sie auch die Betriebssicherheitsverordnung, die Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) sowie die Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF).
- Stellen Sie sicher, dass die verwendete Ausrüstung den Anforderungen des Sicherheitsdatenblatts entspricht.
- **Beachten Sie beim Umgang mit lösemittelhaltigen Systemen im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen / erforderlichen Gefährdungsbeurteilung die einschlägigen Vorschriften zum Explosionsschutz (u. a. die Betriebssicherheitsverordnung, das zugehörige technische Regelwerk [TRBS], harmonisierte EN-Normen und EU-Richtlinien sowie anerkannte Regeln der Technik, z. B. BGR 104 [bisher: ZH 1/10] „Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung“ [kurz: Explosionsschutz-Regeln - EX-RL]). Die wesentlichen physikalischen Kenndaten für die einzelnen Produkte finden Sie in den zugehörigen Sicherheitsdatenblättern unter Punkt 9 „Physikalische Daten“.**

Schutz vor Sonnen- und UV-Lichteinstrahlung

- Vermeiden Sie unbedingt Sonnen- und UV-Lichteinstrahlung, da es sich um lichtempfindliche Systeme handelt.



vor UV-Licht schützen

Gelblicht bzw. Gelbfilter/UV-Schutzfolien sind notwendig. Hersteller von entsprechenden Folien und Lampen nennen wir Ihnen gerne auf Anfrage.

Lackvorbereitung

Vor der Verarbeitung müssen die **Elpemer**[®] Lötstopplacke sowie die ggf. benötigte Verdünnung auf Raumtemperatur gebracht werden. Zweckmäßigerweise werden die Gebinde, die verarbeitet werden sollen, am Vortag in einen Raum gebracht, dessen Temperatur der des Verarbeitungsraumes entspricht.

Die beiden Komponenten (Lackkomponente A bzw. Härterkomponente B) sind bereits im richtigen Mischungsverhältnis abgepackt. Das Volumen des Gebindes der Komponente A ist ausreichend groß bemessen, so dass die gesamte Menge der Komponente B und die ggf. zur Einstellung der Viskosität erforderliche Menge Verdünnung mit aufgenommen werden kann.

→ Beachten Sie beim Anmischen von kleineren Mengen, dass das Mischungsverhältnis in Gewichtsprozent eingehalten wird.

→ Mischen Sie Harz- und Härterkomponente sowie den ggf. zur Einstellung der Viskosität erforderlichen Verdünner sorgfältig, bis ein homogener Lackansatz entstanden ist.

Zum Mischen empfehlen wir mechanische Rührgeräte, wie z. B. Korbrührer, wobei die Rührzeit etwa 10 bis 15 Minuten beträgt. Rührkörper, die Luft einrühren, z. B. Propellerrührer, sind ungeeignet.

→ Füllen Sie **Siebdrucklacke** nach dem Mischen in ein leeres Gebinde um und rühren nochmals.

Hierdurch wird verhindert, dass unvermisches Material aus sogenannten „Totzonen“ verarbeitet wird und so zu Qualitätseinbußen führt.

Die Technische Information TI 15/10 „Verarbeitung von 2-Komponenten-Systemen“ enthält ausführliche Hinweise zum Mischen.

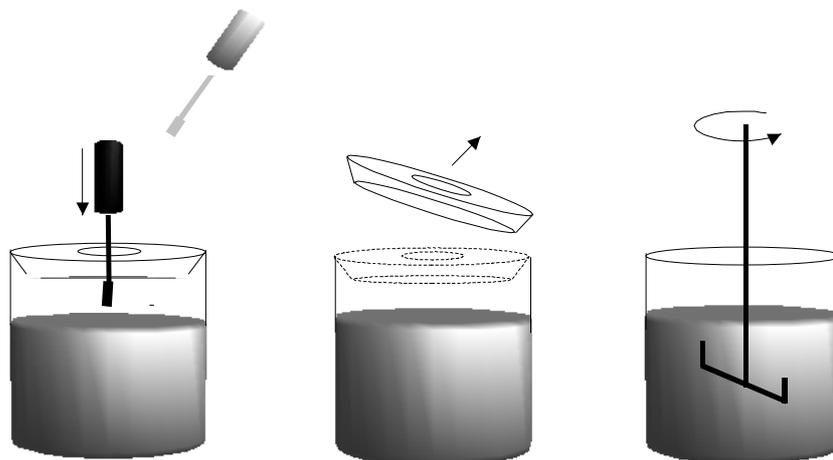
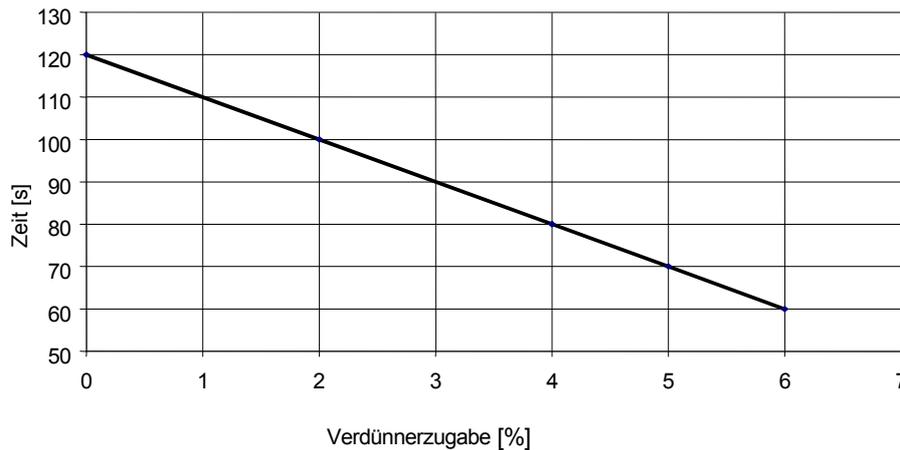


Abbildung 1: Darstellung des Öffnens der Kombigebinde und Mischen der Lackkomponenten für die Gießlacke

Die **Elpemer® Gießlacke** werden in praktischen Kombigebinden geliefert, wobei sich die Härterkomponente im Deckel des Gebindes befindet. Hierdurch wird eine eindeutige Zuordnung von Harz- und Härterkomponenten sichergestellt. Mit einem spitzen Gegenstand (z. B. einem Dreikant oder Schraubenzieher) wird das integrierte Härtergebilde durchstoßen, so dass der Härter in die Harzkomponente fließen kann. Durch die konische Form des Deckelgebindes ist eine vollständige Entleerung gewährleistet, wonach unmittelbar mit dem Vermischen der Komponenten begonnen werden kann.



Die Auslaufzeit wird – hier nach DIN 53211 im 4 mm Auslaufbecher – bei 20 °C gemessen. Die prozentuale Verdünnungszugabe bezieht sich auf die Ausgangsviskosität der Mischung von 120 s.

Neben der Ausgangsviskosität ist unbedingt auch die Temperaturabhängigkeit zu beachten.

Abbildung 2: Grafische Darstellung der Viskosität (Auslaufzeit) von Elpemer® GL 2467

Das dargestellte Verhältnis wird durch prozess- und anlagenbedingte Parameter beeinflusst. Daher sind die Aussagen des Diagramms nur als Richtwert anzusehen und müssen ggf. an die individuellen Produktionsgegebenheiten angepasst werden.

→ Beachten Sie nach dem Mischen eine Haltezeit von 30 min.

In dieser Zeit kann der Lack entgasen, wodurch Vorhangrisse und Mikrobläschen in der Beschichtung vermieden werden.

→ Beachten Sie die Topfzeit bei Raumtemperatur (18-23 °C) entsprechend den Angaben in den jeweiligen Prozessdatenblättern.

Vorreinigen

Voraussetzung für eine einwandfrei haftende Beschichtung ohne Entnetzungen bzw. Abplatzungen in Folgeprozessen und das Erreichen der maximalen elektrischen Eigenschaften des Lötstopplacks ist eine oxidfreie Metallaufgabe mit einer mittleren Rauhtiefe von 2 µm (0,8 – 1,2 µm für flexibles Laminat) und ein einwandfrei sauberes und trockenes Substrat.

→ In der **Technischen Information TI 15/13 „Vorreinigung in der Leiterplattenfertigung“** finden Sie detaillierte Hinweise zu den verschiedenen Vorreinigungsverfahren.

→ Beschichten Sie unmittelbar nach der Vorreinigung, damit es während einer Zwischenlagerung nicht wieder zu Oxidation oder Verschmutzung kommt.

Insbesondere einige flexible Basismaterialien neigen zur Einlagerung von Feuchte.

→ Tempern Sie ggf. das Basismaterial vor der Beschichtung, um Haftungsprobleme zu vermeiden.

Werden auch Lacksysteme verarbeitet, die Silikone enthalten, ist auf eine besonders gründliche Reinigung der Arbeitsgeräte und Verarbeitungsmaschinen zu achten, da schon geringste Silikonrückstände zu Entnetzungen führen können.

Vorwärmen

Aufgrund des bei **Elpemer®** Lötstopplacken gut ausgewogenen Verhältnisses zwischen Thixotropie und Verlaufseigenschaften ist ein Vorwärmen der Leiterplatte vor dem Beschichten in der Regel **nicht notwendig**.

Beschichten

Die fotostrukturierbaren **Elpemer**[®] Lötstopplacke sind für verschiedene Einsatzbereiche und Auftragsverfahren entwickelt worden. Die Lackverarbeitung sollte möglichst in klimatisierten Reinräumen erfolgen.

Die Kennzahlen (Dichte, Viskosität usw.) und Verarbeitungsparameter sind dem jeweiligen Prozessdatenblatt und die spezifizierten Grundeigenschaften (elektrische und physikalische Daten) dem entsprechenden Technischen Merkblatt zu entnehmen.

Die einzelnen Auftragsverfahren:

- Vorhanggießen
- Siebdrucken (horizontal oder vertikal)
- Sprühen (konventionell oder elektrostatisch)

werden nachstehend beschrieben.

Da es aufgrund der Vielzahl der Variationsmöglichkeiten unmöglich ist, Prozesse und Folgeprozesse in ihrer Gesamtheit bezüglich ihrer Schwankungsbreite (Parameter, Wechselwirkungen mit eingesetzten Materialien, chemischen Prozessen und Maschinen) beurteilen zu können, sind die von uns empfohlenen Parameter nur als Richtwerte zu verstehen, die unter Laborbedingungen ermittelt wurden. Wir empfehlen, die genauen Prozessgrenzen unter Ihren Produktionsbedingungen, insbesondere auch im Hinblick auf die Kompatibilität mit Ihren spezifischen Folgeprozessen, zu ermitteln, um eine stabile Fertigung und qualitativ hochwertige Produkte sicherzustellen.

Die in den Technischen Merkblättern angegebenen Produktdaten basieren auf standardisierten Prozessbedingungen/Prüfbedingungen der genannten Normen und müssen unter geeigneten Prüfbedingungen an prozessierten Leiterplatten verifiziert werden.

Unsere Anwendungstechnische Abteilung (ATA) steht Ihnen selbstverständlich für Fragen und eine Beratung jederzeit gerne zur Verfügung.

Vorhanggießen

Beim Vorhanggießen (curtain coating) wird die Leiterplatte auf eine Geschwindigkeit von bis zu 90 m/min beschleunigt, durch den Lackvorhang transportiert und wieder abgebremst. Da Lackvorhang- und Leiterplattengeschwindigkeit annähernd gleich sind, legt sich der Lötstopplack als gleichmäßige Schicht flächig auf die Leiterplatte.

Der Lötstopplack wird permanent aus einem Vorratsbehälter in den Gießkopf gepumpt und fließt, um Lufteinschlüsse zu verhindern, über eine Auffangrinne mit einer Neigung von 30° wieder in den Vorratsbehälter zurück.

Lufteinschlüsse im Lötstopplack können zu Blasenbildung auf der Leiterplatte führen, darüber hinaus verursachen größere Luftblasen Lackvorhangrisse, die wiederum Fehlstellen auf der Leiterplatte zur Folge haben.

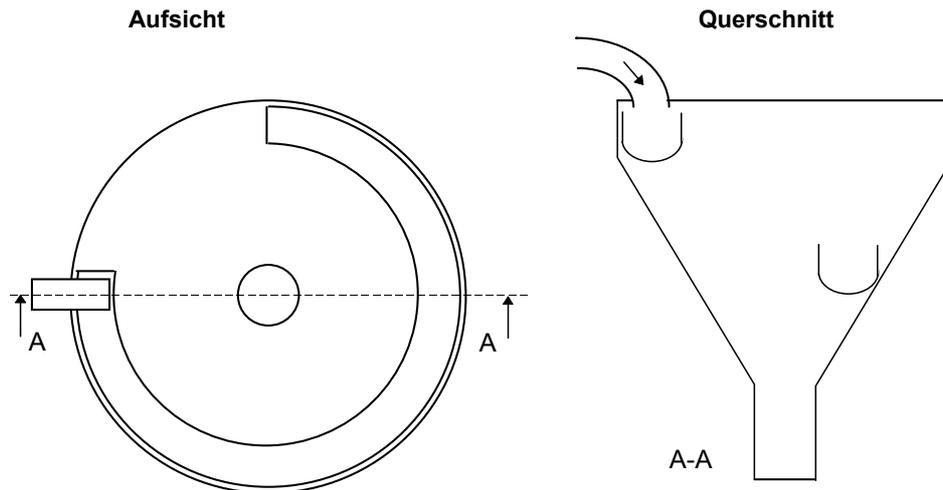


Abbildung 3: Konstruktionsprinzip einer Lackablaufrinne

Um gleichbleibende Prozessparameter zu halten, wird die Viskosität des Lötstopplackes während des Umpumpens permanent durch ein Viskositätsmesssystem überprüft und durch ein automatisches Dosiersystem in den vorgegebenen Viskositätstoleranzen gehalten.

- Führen Sie aufgrund der Thixotropie der **Elpemer®** Lötstopplacke die Einstellung und Kontrolle der Viskosität nur bei laufender Pumpe durch, da die hierbei auftretenden Scherkräfte bereits eine Viskositätsverringerung bewirken.

Durch ein Heiz-/Kühlsystem im Lackkreislauf wird die Temperatur des Lötstopplackes konstant gehalten.

- Stellen Sie die aufzubringende Lackmenge über die Pumpenleistung/-drehzahl ein.

Frequenzgesteuerte Pumpen erlauben eine relativ genaue Voreinstellung.

- Nehmen Sie die Feineinstellung über die Wägung der aufgetragenen Nasslackmenge auf einer Probeleiterplatte vor:

Bereiten Sie Basismaterialabschnitte mit einer definierten Fläche (z. B. 200 x 300 mm) vor. Ein Abschnitt wird auf einer Waage mit einer Genauigkeit von mindestens $\pm 0,1$ g gewogen und dann beschichtet. Wiegen Sie die Platte unmittelbar nach der Beschichtung zurück. Die Differenz der beiden Wägungen ergibt das Nasslackgewicht, bei Verwendung des o. a. Formates in g/6 dm² bzw. g/0,06 m² oder nach Division des Messwertes durch 0,06 in g/m² angegeben.

- Achten Sie unbedingt darauf, dass die Rückwägung **unmittelbar** nach der Beschichtung erfolgt, da sonst durch Verdunsten der Lösemittel das Messergebnis verfälscht wird.
- Wenn nach der Vortrocknung direkt die zweite Leiterplattenseite beschichtet werden soll, drehen Sie die Leiterplatte vor der Beschichtung der zweiten Seite um 180°.

Durch diese Drehung wird verhindert, dass die Wandungen der Löcher und Durchkontaktierungen beim Beschichten der zweiten Seite doppelt mit Lötstopplack beschichtet werden. Bei einer doppelten Beschichtung der Wandungen muss die Entwicklungszeit verlängert werden, damit keine Reste des Lötstopplackes in den Löchern verbleiben. Durch eine verlängerte Entwicklungszeit kann die Auflösung des Lötstopplacks unnötig verschlechtert werden.

- Reduzieren Sie ggf. den Abstand Gießkopf/Leiterplatte, die Förderleistung der Pumpe bzw. die Gießgeschwindigkeit und/oder stellen Sie eine höhere Lackviskosität ein (> 80 s nach DIN 53211), um beim Beschichten Lackdurchschläge durch größere Bohrungen (≥ 5 mm) auf die untere Leiterplattenseite zu vermeiden.
- Beachten Sie bei Verwendung einer Gießrandbegrenzung, dass diese unmittelbar am unbeschichtet gebliebenen Leiterplattenrand eine Gießwulst erzeugt, die deutlich höhere Schichtdicken aufweist als die übrigen Leiterplattenbereiche.

Je geringer die Distanz von Gießkopf bzw. Gießrandbegrenzungsblechen zur Leiterplattenoberfläche eingestellt ist, desto weniger ausgeprägt ist die Gießwulst.

→ Stellen Sie sicher, dass sich keine größeren Registrierungs- und Aufnahmebohrungen im Bereich der Gießwulst befinden, um hier Lackdurchschläge auszuschließen, und dass Ablüften und Vortrocknung auf eine möglichst vollständige Trocknung des Lackes auch in den Gießrandbereichen abgestimmt sind, ohne zu einer Übertrocknung in den übrigen Bereichen zu führen.

Durch das weite Vortrocknungsfenster der **Elpemer**[®] Lötstopplacke ist diese Gefahr jedoch äußerst gering.

Siebdruck

Der Siebdruck (screen printing) ist ein Kontaktdruckverfahren, bei dem der Lötstopplack mit einer Rakel durch ein Siebgewebe (mit oder ohne Schablone) auf die Leiterplatte übertragen wird.

Die Rakel hat üblicherweise eine Shore-A-Härte von 65-75 und ein rechtwinkliges Profil. Der Rakelwinkel beträgt in der Regel 75-80°, beim vertikalen Siebdruck 20-30°.

→ Runden Sie die Kanten leicht ab, wenn höhere Lackschichten erreicht werden sollen.

Empfohlene Siebgewebe sind Polyestergewebe 32-100 bis 54-64 (nach alter Bezeichnung 32-54 T) mit einer Siebspannung von mindestens 25 N/cm (bzw. entsprechend den Angaben des Siebgebeherstellers) oder korrespondierende Edelstahlgewebe.

→ Halten Sie – abgesehen vom vertikalen, doppelseitigen Siebdruck – den Rakeldruck so gering wie möglich, um Verquetschungen an den Leiterkanten zu vermeiden.

Die übrigen Siebdruckparameter sind abhängig von der Leiterplattenoberfläche.

Bei den flexiblen **Elpemer**[®] Lötstopplacken sind Flut- und Rakelgeschwindigkeit sowie der Absprung möglichst niedrig einzustellen, um Mikrobblasen zu vermeiden.

Zur guten Abdeckung, auch von quer zur Rakelrichtung liegenden Leitern, empfiehlt sich ggf. ein „Nass-in-nass“-Druck.

Der Druck von **Elpemer**[®] Lötstopplacken kann in Leersieben (d. h. ohne Schablone) erfolgen oder mit einer Schablone als Bohrlochabdeckung. Der Durchmesser der Abdeckung muss dabei etwas größer als der Bohrlochdurchmesser sein. Ein hoher Schablonenaufbau ist nicht nötig, da die Schablone nur zur Füllung der Siebmaschen dient. Eine Bohrlochabdeckung hat den Vorteil, dass sich in den Durchkontaktierungen keine Lackpfropfen bilden, die eine ausreichende Durchströmung der Bohrungen beim Entwicklungsprozess verhindern, wodurch die Entwicklungszeit unnötig verlängert wird. Durch das Versetzen der Leiterplatten in der x-y Achse nach jedem Druck kann das Füllen von Löchern ebenfalls wirksam vermieden werden.

→ Verlängern Sie ggf. die Entwicklungszeit und, damit verbunden, die Belichtungszeit, um die Freientwicklung der Bohrungen sicherzustellen. Beachten Sie, dass dabei sich der Auflösungsgrad etwas verringern kann.

Auch die Verarbeitungsweise (einseitig oder doppelseitig) sowie die Vortrocknungsmethode (Konvektionstrocknung, IR-Trocknung oder eine Kombination) beeinflussen das Entwicklungsverhalten und somit die Entscheidung, ob mit oder ohne Schablone gearbeitet werden kann.

Grundsätzliche Vorteile des Siebdruckverfahrens gegenüber dem Vorhanggießverfahren sind:

- aufgrund des höheren Festkörpers ist ein deutlich geringeres Nasslackgewicht notwendig
- die rheologischen Eigenschaften (Strukturviskosität) verhindern ein Ablaufen von der Leiterkante, so dass eine bessere Kantenabdeckung erzielt wird.

Weitere Vorteile des Siebdruckes siehe Punkt „Siebdruck doppelseitig (vertikal)“.

Siebdruck einseitig

Beim einseitigen Siebdruck wird zuerst die erste Leiterplattenseite mit Lötstopplack bedruckt, vorgetrocknet, belichtet, entwickelt und ausgehärtet. Danach wird die zweite Seite bedruckt und analog der ersten Seite prozessiert.

Siebdruck doppelseitig (horizontal)

Eine doppelseitige Applikation mit einem hohen Maß an Prozesssicherheit ist im horizontalen Siebdruck nur mit besonderen Siebdruckeinrichtungen möglich. Da der Siebdruck ein Kontaktdruckverfahren ist, wird die Leiterplattenunterseite beim Druckvorgang einer Druckbelastung ausgesetzt. Diese kann zu einer Beschädigung der zuerst aufgetragenen Lackbeschichtung führen, wenn diese nur vorgetrocknet ist. Wenn die erste Leiterplattenseite vor der Beschichtung der zweiten Seite belichtet und entwickelt wird, kann es zu einem verstärkten Unterspülen und dadurch zu einer schlechteren Auflösung auf der ersten Seite kommen (durch das zweimalige Einwirken des Entwicklers auf die erste Seite).

Eine doppelseitige „Nass-in-nass“-Beschichtung ist nur möglich, wenn die Leiterplatte beim Druck der zweiten Seite auf Adapterstiften in den Durchkontaktierungen fixiert wird.

Siebdruck doppelseitig (vertikal)

Die vertikalen Siebdruckanlagen ermöglichen die gleichzeitige Beschichtung beider Leiterplatten-seiten. Sie werden als semi-automatische und vollautomatische Anlagen für unterschiedlichste Leiterplattendicken und Nutzengrößen angeboten.

Semi-automatische Anlagen bestehen aus einem manuellen Lade- und Entladebereich und einem vollautomatischen Druckbereich.

Vollautomatische Anlagen laden die Platten zusätzlich automatisch von einem Stapler bzw. Magazin. Nach dem Druckzyklus werden die Zuschnitte automatisch abgestapelt und in einen Vertikal-durchlaufrockner transportiert.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Siebdruckmaschinen sind Größe und Dicke der Nutzen, die verarbeitet werden können.

Darüber hinaus existieren je nach Anlagenhersteller noch verfahrenstechnische Unterschiede, wie:

- pneumatischer oder elektromechanischer Antrieb
- Druckzyklus mit bzw. ohne separatem Fluten der Siebmaschinen
- schiebendes („push-stroke“) oder ziehendes Rakeln („pull-stroke“)
- fixierter oder variabler Rakelwinkel.

Trotz dieser Unterschiede arbeiten alle angebotenen Anlagen nach dem gleichen Grundprinzip:

- durch einen relativ flachen Rakelwinkel in Kombination mit einem sehr hohen Rakeldruck der selbstjustierenden Rakeleinheiten wird eine absolut gleichmäßige Beschichtung auf beiden Seiten der Leiterplatten in einem Arbeitsgang erreicht
- durch die spezielle Drucktechnik ist eine gleichmäßige Lackschicht über und zwischen den Leitern gewährleistet. Ein zuverlässiger Druck ohne „Skipping“ kann selbst bei hohem Leiteraufbau bzw. sehr geringen Leiterbreiten und Leiterabständen erreicht werden.

Bei diesem Applikationsverfahren ergeben sich die folgenden Vorteile:

- Beschichtung von beiden Leiterplattenseiten gleichzeitig; dadurch Druck auf zwei gleich saubere bzw. oxidfreie Oberflächen
- gemeinsame Vortrocknung der beiden Leiterplattenseiten; dadurch geringerer Energiebedarf und keine Gefahr der Übertrocknung, wie sie z. B. bei der zuerst beschichteten Leiterplattenseite im Vorhanggießverfahren auftreten kann

Die beim vertikalen Siebdruck in Bohrungen eingebrachte Lackmenge hängt ganz entscheidend von den eingestellten Druckparametern ab.

Sprühen (konventionell oder elektrostatisch)

Beim Sprühen wird der Lötstopplack mit Druckluft fein zerstäubt und mit dieser Luft zur Leiterplatte transportiert (konventionelles Sprühen) oder zusätzlich elektrisch aufgeladen (elektrostatisches Sprühen) und durch die statische Aufladung in einem elektrischen Feld und einem geringen Luftdruck zur geerdeten Leiterplatte transportiert.

Die Leiterplatten werden in horizontaler Lage beschichtet (und vorgetrocknet), wobei mit einem quer zur Durchlaufrichtung oszillierenden Sprühkopf beschichtet wird. Die Sprühdüsen und/oder die Zerstäuberdruckluft werden in der Regel auf ca. 50-100 °C beheizt, wodurch die Lackviskosität unmittelbar in der Sprühdüse zur leichteren Zerstäubung des Lötstopplackes reduziert wird.

Die Beheizung der Sprühdüsen ermöglicht die Anwendung recht hochviskoser Lacksysteme, was zum einen den Einsatz feststoffreicher Lacke ermöglicht und zum anderen für eine schnelle Vortrocknung sorgt.

Bei der Sprühapplikation mit **Elpemer**[®] Lötstopplacken ergeben sich folgende Vorteile:

- Beschichtung und Vortrocknung beider Leiterplattenseiten jeweils in einem Arbeitsgang
- optimaler Lackverlauf und gute Kantenabdeckung der Leiterkanten; keine Benetzungsprobleme („Skipping“) bei der Beschichtung von Leiterplatten mit hoher Leiterdichte und ungünstigem Layout - durch die feine Zerstäubung der Lackpartikel können selbst schwer zugängliche Leiterplattenbereiche sicher mit Lötstopplack benetzt werden.
- nur geringe Lackmengen selbst in sehr kleinen Durchsteigern
- ausgezeichnetes Verhältnis von Lack auf Leiter zu Lack auf Basismaterial

Ein gravierender Nachteil der Sprühtechnik ist das Overspray, was einerseits zu einem erhöhten Lackverbrauch und andererseits zu einer nicht unerheblichen Verschmutzung der Leiterplattenhandlungssysteme führt. Neuere Entwicklungen mit definierter Rückführung des Oversprays lassen hier jedoch deutliche Einsparungen erwarten.

Doppelbeschichtungen

Spezielle Kundenanforderungen hinsichtlich Kantenabdeckung, Durchschlagfestigkeit etc. können Doppelbeschichtungen notwendig machen. Für eine ausreichende Beständigkeit in chemisch Nickel/Gold- oder Zinn-Bädern sollte eine Leiterkantenabdeckung von mindestens 10 µm angestrebt werden. Grundsätzlich gibt es drei mögliche Verfahren, die nachfolgend beschrieben werden

→ Führen Sie Vorversuche durch, um einwandfreie Beschichtungsergebnisse sicherzustellen.

Die zweite Lackschicht wird direkt nach der Vortrocknung der ersten Lackschicht aufgebracht.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der hierbei erreichten höchstmöglichen Produktivität, da alle weiteren Prozessschritte, angefangen bei der Belichtung, gemeinsam durchgeführt werden. Der Nachteil bzw. die Schwierigkeit bei diesem Verfahren liegt darin, dass die Leiterplatten insgesamt viermal die Vortrocknung durchlaufen, wodurch das Prozessfenster dieses Verarbeitungsschrittes sehr klein wird, und es somit leicht zu Übertrocknungen und infolgedessen zu einer unvollständigen Freientwicklung kommen kann, die, wenn sie nicht rechtzeitig (vor der Endhärtung) festgestellt wird, zu irreversiblen Fehlstellen (z. B. Fehlverzinnungen) der Leiterplatten führen kann.

Die zweite Lackschicht wird nach der Belichtung und Entwicklung der ersten Lackschicht aufgebracht.

Auch hier liegt der Hauptvorteil in der immer noch für Doppelbeschichtungen relativ hohen Produktivität, da die besonders zeitintensive Endhärtung der Lackbeschichtungen in nur einem gemeinsamen Verarbeitungsschritt durchgeführt wird.

Das Risiko der Übertrocknung ist hierbei nicht höher als bei einer Einfachbeschichtung; hier kann jedoch eine unzureichende Vortrocknung der ersten Lackbeschichtung zu Problemen führen. Lösemittleinschlüsse bzw. ein zu hoher Restlösemittelgehalt der ersten Lackbeschichtung können nach der durch die Belichtung ausgelösten Vernetzungsreaktion nur noch sehr schwer aus dem Lackfilm entweichen. Dies kann dazu führen, dass diese Lösemittel bei der Heißverzinnung explosionsartig verdampfen und so zu Lackablösungen führen. Um dies zu vermeiden, sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Wählen Sie das Nasslackgewicht der ersten Lackbeschichtung möglichst niedrig, um eine einwandfreie Durchtrocknung sicher zu gewährleisten; ggf. kann dies durch ein entsprechend höheres Nasslackgewicht der zweiten Lackbeschichtung kompensiert werden, wodurch die Endschichtdicke unverändert bleibt.
- Wählen Sie die Vortrocknungsparameter der ersten Lackbeschichtung aus demselben Grund möglichst an der oberen Grenze des Verarbeitungsfensters, wobei besonders auf eine ausreichende Abluft (Lösemittelabführung) geachtet werden muss.

Sollten aus irgendeinem Grund diese Punkte nicht berücksichtigt werden können, so ist es u. U. möglich, durch eine zweistufige Endhärtung ein einwandfreies Ergebnis trotz Lösemittleinschlüssen zu erzielen. Hierbei ist die Temperatur im ersten Schritt niedriger (z. B. 30-45 min/80-120 °C) als die eigentliche Endhärtetemperatur, so dass Lösemittelreste entweichen können.

Die zweite Lackschicht wird nach der Endhärtung der ersten Lackschicht appliziert.

Diese relativ unproduktive Vorgehensweise stellt allgemein den insgesamt sichersten Prozess dar. Trotzdem kann es auch hier zu Lackabplatzungen beim Heißverzinnen kommen.

Ursache hierfür sind Verunreinigungen auf der Oberfläche der ersten Lackbeschichtung, die sozusagen eine Trennschicht zwischen den beiden Lackfilmen darstellt. Hierfür kommen prinzipiell zwei mögliche Ursachen in Frage:

- Verunreinigungen aufgrund des Handlings der Leiterplatte zwischen den beiden Beschichtungsvorgängen.
Es muss daher darauf geachtet werden, dass die zunächst einmalig beschichteten Platten mit der gleichen Sorgfalt behandelt werden, wie vorgereinigte, unbeschichtete Leiterplatten. Fingerabdrücke u. Ä. müssen unbedingt vermieden werden; ggf. empfiehlt es sich auch, eine zusätzliche Zwischenreinigung vor der Applikation der zweiten Lackbeschichtung vorzunehmen.
- Niedermolekulare Lackbestandteile (Kondensat) schlagen sich während der thermischen Endhärtung der ersten Lackbeschichtung auf dieser nieder.
Durch ein zu niedriges Abluftvolumen während der Endhärtung der ersten Schicht kann es zu einem Niederschlag dieses „Kondensates“ auf den Leiterplatten kommen, wodurch keine einwandfreie Lack-auf-Lack-Haftung erreicht werden kann.

Ablüften

Während des Ablüftens sollen eventuell vorhandene Luftporen zwischen den Leitern entweichen. Außerdem werden bei diesem Prozessschritt schon erhebliche Anteile Lösemittel aus dem **Elpemer®** Lötstopplack entfernt. Das Ablüften findet bei Temperaturen bis maximal 50 °C statt. Ei-

ne gute Ablufführung ist unbedingt notwendig. Außerdem sollte die Zuluft auch in der ersten Zeitphase des Ablüftens sehr gezielt über die Leiterplatten geführt werden können, um Verblasungen - Entnetzungen bzw. Lackanhäufungen um Bohrungen durch Kamineffekte - zu vermeiden und die optimale Kantenabdeckung zu erhalten.

Die Luftmengen und die Temperatur in der Ablüftzone sollten regelbar sein. Es ist eine Ablüftzeit entsprechend den Angaben im jeweiligen Prozessdatenblatt vorzusehen.

→ Falls die Leiterplatten während der Vortrocknung vertikal gelagert werden, sorgen Sie bereits während des horizontalen Ablüftens für ausreichenden Luftaustausch, um ein schnelles Antrocknen zu ermöglichen, so dass das Abfließen des Lackes („Tränenbildung“) vermieden wird.

Bei hohem Cu-Aufbau ($\geq 70 \mu\text{m}$ Basiskupfer) kann es unmittelbar an den Leitern zu hohen Lackschichtdicken kommen. Bei nicht ausreichender Ablüftzeit oder zu steilem Temperaturprofil der Vortrocknung kann diese Lackschichtdicke zu Lösemittelleinschlüssen führen, welche die sogenannten „Nadelstiche“ erzeugen.

Vortrocknen

Die Vortrocknung dient dazu, die in dem Lötstopplack nach dem Ablüften noch enthaltenen Lösemittel zu entfernen und die Lackschicht soweit zu trocknen, dass die Beschichtung der zweiten Seite bzw. die Belichtung ohne Ankleben, Abdrücke oder andere Beschädigungen der ersten Seite möglich ist.

Der Vortrocknungsprozess findet in einem Zeit-/Temperaturfenster statt, das je nach eingesetztem Lacksystem unterschiedlich ist. Die untere Grenze wird durch die mechanische Festigkeit des Lötstopplacks festgelegt. Der obere Bereich der Vortrocknung, sowohl bezüglich der Temperatur als auch der Zeit, muss so gewählt werden, dass der Lötstopplack noch nicht polymerisiert und somit die Entwicklung der nicht belichteten Stellen einwandfrei möglich ist.

→ Berücksichtigen Sie bei doppelseitiger Verarbeitung, dass die zuerst beschichtete Seite ggf. zweimal der Vortrocknung ausgesetzt wird.

Grundsätzlich kann die Vortrocknung als reine Konvektionstrocknung ausgelegt werden, ggf. mit Integration des Ablüftens, als Kombination von Konvektions- und IR-Strahlung oder auch als reine IR-Trocknung.

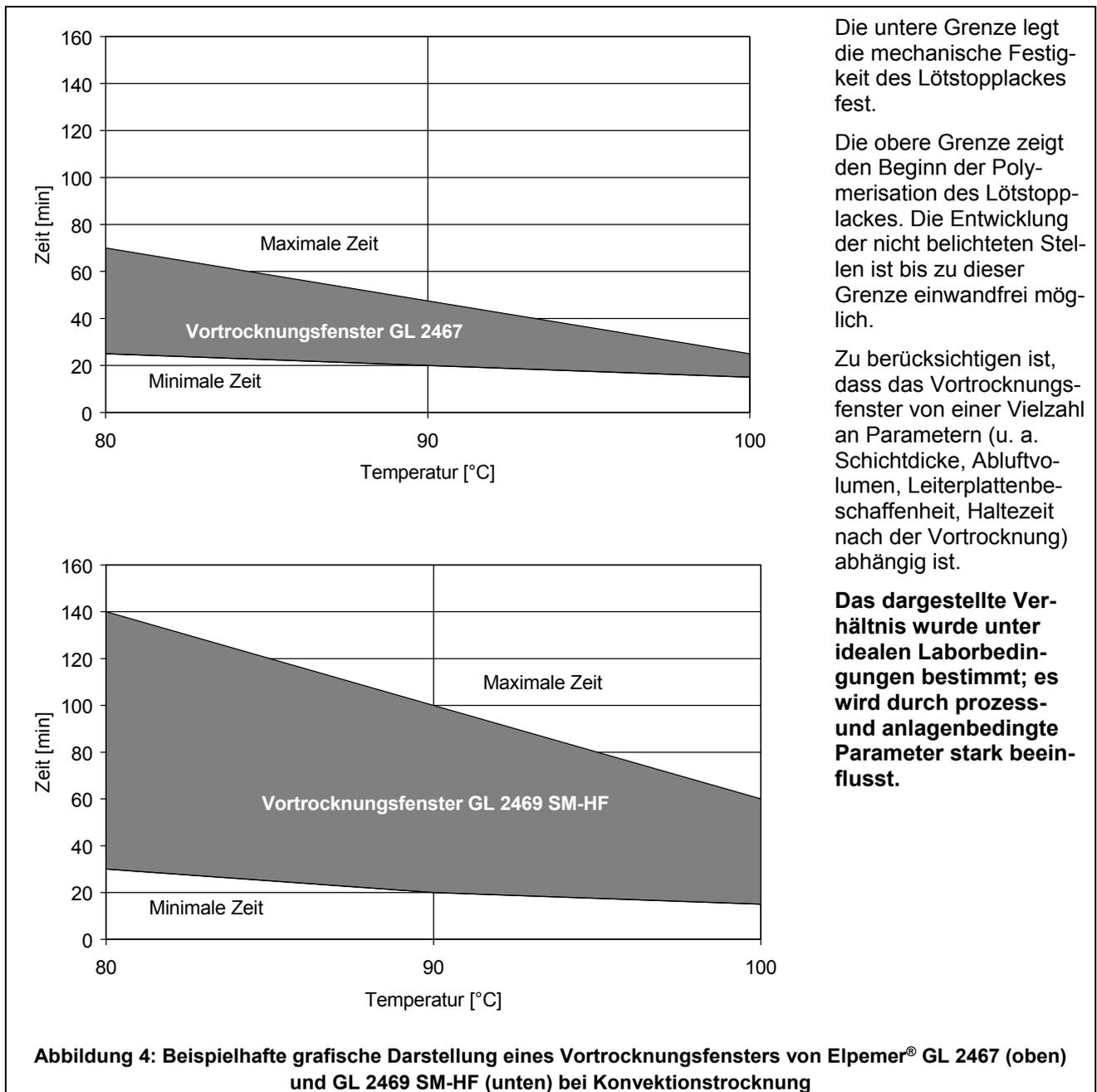
Die reine Konvektionstrocknung benötigt mehr Platz und weist längere Durchlaufzeiten auf. Dafür ist es möglich, mit niedrigeren Temperaturen zu arbeiten, wodurch sich folgende Vorteile ergeben:

- der Lötstopplack wird effektiver und „schonender“ getrocknet
- hierdurch wird die Gefahr reduziert, dass in den unteren Schichten noch größere Lösemittelanteile verbleiben, wodurch die Auflösung des Lötstopplacks verschlechtert wird. Dies ist besonders bei höheren Lackauftragsmengen von Bedeutung
- die Problematik der Abdrücke durch das Transportsystem bei doppelseitiger Verarbeitung wird vor allem bei sehr dünnem Laminat reduziert
- da die Temperaturbelastung deutlich geringer gehalten werden kann, ist eine höhere mechanische Stabilität des Basismaterials bei der Vortrocknung gegeben.

Neben einem ausreichenden Luftwechsel zur wirksamen Abführung der Lösemittel während der Vortrocknung ist es wichtig, eine ausreichende Kühlung im Auslauf der Vortrocknung vorzusehen.

Die Leiterplattentemperatur sollte nach der Kühlung unter $30 \text{ }^\circ\text{C}$ liegen, um mechanische Beschädigungen beim Transport und Ab stapeln zu verhindern, da die Lackschicht in diesem Stadium noch thermoplastisch ist. Nach der Vortrocknung kann bei einer doppelseitigen Verarbeitung die Beschichtung der zweiten Seite erfolgen.

Für eine doppelseitige Beschichtung nach der Vortrocknung sollte das gesamte Transportsystem V-förmig ausgelegt oder der Leiterplattentransport so konstruiert sein, dass die Leiterplattenrückseite nicht flächig aufliegt, wodurch eventuelle Beschädigungen der Beschichtung wirksam vermieden werden.



• Kondensatbildung

Bei der Vortrocknung von fotostrukturierbaren Lötstopplacken, insbesondere solchen mit extrem kurzen Belichtungszeiten, kann es zu einer gewissen Kondensatbildung kommen. Diese Kondensatbildung kann verstärkt bei einer Kombination Warmluft/IR-Vortrocknung auftreten.

Damit dieses Kondensat nicht in den Vortrocknungsöfen zurückgeführt wird, ist eine ausreichende Trennung von warmer und kalter Luft und ggf. der Einbau einer Kondensatfalle vorzunehmen.

• Haltezeit

Es ist darauf zu achten, dass die im jeweiligen Prozessdatenblatt angegebenen maximalen Haltezeiten zwischen den Prozessschritten (Vortrocknen – Belichten – Entwickeln) nicht überschritten werden, da sonst eine vollständige Freientwicklung unter Umständen nicht mehr gegeben ist.

Anmerkung zum Umweltschutz

In den Prozessschritten „Ablüften“ und „Vortrocknen“ entweicht der größte Anteil der Lösemittel aus dem Lötstopplack. In diesem Zusammenhang ist die Richtlinie „Über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösemittel entstehen“ (kurz EU-VOC-RL) zu beachten, die eine Verminderung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (mit einem Dampfdruck von 0,1 mbar bei 20 °C) zum Ziel hat.

Vorteilhaft im Hinblick auf die Lösemittelbilanz sind im Bereich der Lötstopplacke

- der Einsatz von Lacken mit hohem Festkörpergehalt
- die Verwendung von Reinigungsmitteln und Entwicklermedien mit einem Dampfdruck > 0,1 mbar, z. B. **R 5899** bzw. Butyldiglykol (BDG) oder wässrig-alkalische Entwickler
- das Recycling gebrauchter Lösemittel.

Detaillierte Informationen zu den Anforderungen der VOC-Richtlinie, zu Grenzwerten und Auswirkungen auf die Leiterplattenfertigung können Sie der **Technischen Information TI 15/110: „Die EU-VOC-Richtlinie – Inhalte und Konsequenzen für die Leiterplattenbranche“** entnehmen.

Belichten

Die Prozessschritte Belichten und Entwickeln sind im Zusammenhang zu betrachten, da sie aufeinander abgestimmt werden müssen (siehe auch Punkt „Entwickeln“).

Bei der Belichtung werden die Flächen der beschichteten Leiterplatten mit UV-Licht bestrahlt, die auf der fertigen Leiterplatte eine Lötstopplack-Abdeckung aufweisen sollen. Daher werden die freizuentwickelnden Flächen bei der Belichtung mit einer geeigneten Fotovorlage (siehe auch Punkt „Fotovorlage“) abgedeckt.

Zur Belichtung werden Belichtungsgeräte mit einer eisendotierten Quecksilberdampfampe in der Regel mit 5-10 kW Leistung und einem Emissionsmaximum von 365 nm verwendet; für weiße **Ei-pemer®** Lötstopplacke können auch galliumdotierte Strahler eingesetzt werden (siehe Punkt „UV-Strahler“). Eine höhere Leistung verkürzt die Belichtungszeit und ermöglicht eine höhere Auflösung. Die Belichtungsgeräte sollten eine ausreichende Kühlung haben, so dass die Leiterplatten bei der Belichtung eine Temperatur von ca. 25 °C nicht überschreiten, um ein Ankleben der Fotovorlage zu vermeiden.

Die Geräte müssen mit einem Betriebsstundenzähler ausgerüstet sein, da die Nutzungsdauer der UV-Strahler nur etwa 1000 bis 1500 h beträgt und die Strahler dann ausgetauscht werden müssen. Mit zunehmendem Alter der Lampe verschiebt sich der Wellenlängenbereich. Die in die Belichtungsgeräte eingebauten Integratoren sorgen dafür, dass weiterhin die entsprechende Energie im richtigen Wellenlängenbereich zur Verfügung steht. Durch die Wellenlängenverschiebung werden jedoch die Belichtungszeiten verlängert, und die Wärmebelastung der Fotovorlage erhöht sich (Ankleben am Lack, Dimensionsstabilität nimmt ab).

Eine erhöhte Wärmestrahlung bei der Belichtung kann auch durch einen falsch dotierten oder defekten Strahler erzeugt werden und möglicherweise folgendes Problem erzeugen:

Durch die höhere Wärmeenergie wird die durch das UV-Licht angeregte Fotoreaktion bei den auf langwelliges Licht reagierenden Fotoinitiatoren fortgeführt. Diese Reaktion reicht aus, um eine genügende Stoufferstufe darzustellen. Die Vernetzungsreaktion/Fotopolymerisation der Lackoberfläche, die besonders durch kurzwelliges Licht erreicht wird, ist jedoch nicht ausreichend für eine einwandfreie Beständigkeit der belichteten Flächen im Entwicklungsprozess, so dass der Lackfilm bei der Entwicklung angequollen wird. Dies kann dazu führen, dass es in Bereichen dünner Lack-schichten (z. B. auf schmalen Leitern oder an den Leiterkanten) zu Lackablösungen kommt.

Der Belichtungsrahmen muss ein Vakuum zwischen Leiterplatte und Rahmen ermöglichen. Damit Lufteinschlüsse zwischen Fotovorlage und Leiterplatte vermieden werden, ist die ggf. noch verbleibende Luft auszustreichen.

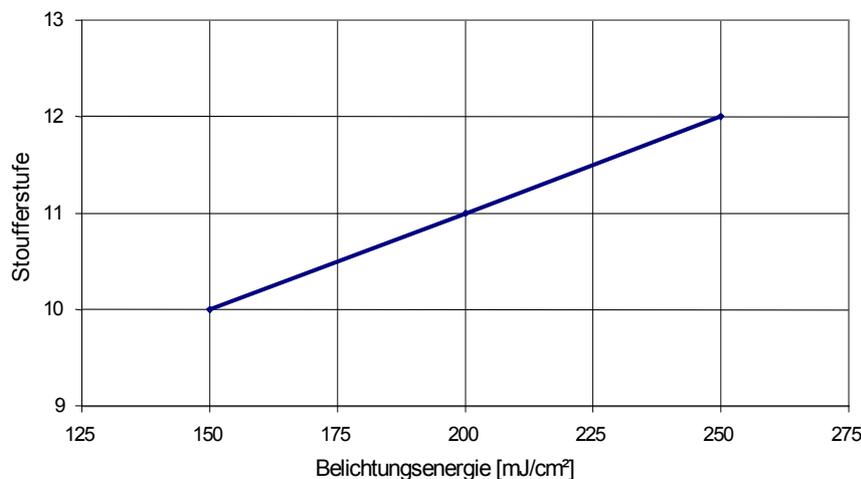
- **Glanzstellen**

Glanzstellen auf der Lötstopplackoberfläche werden häufig verursacht durch eine zu kurze Abkühlphase der beschichteten Leiterplatte zwischen Vortrocknung und Belichtung. Der direkt nach der Vortrocknung noch warme Lack ist stark thermoplastisch und wird durch den aufgelegten Film und das beim Belichten erzeugte Vakuum in der Art deformiert, dass es zu einzelnen glänzenden Bereichen durch Filmanhaftungen auf der Lackoberfläche kommt.

Eine weitere Ursache für die glänzenden Flächen ist eine zu starke Erwärmung der Belichteroberfläche während des Belichtens. Auch hierbei kann es durch den aufgelegten Film und das erzeugte Vakuum aufgrund der Thermoplastizität des noch nicht endgehärteten Lackes zu glänzenden Bereichen auf der Leiterplatte kommen.

Um diese glänzenden Stellen zu vermeiden, sollte die Leiterplatte vor der Belichtung auf Raumtemperatur abgekühlt werden.

Des Weiteren darf die Temperatur während des Belichtens nicht wesentlich über Raumtemperatur ansteigen. Vermeiden lässt sich dies durch eine effektive Wasserkühlung des Strahlers. Durch Reduzierung des Vakuums können das Kleben des Filmes und die dadurch bedingten Glanzstellen vermieden werden.



Die Belichtungsenergie bezieht sich auf einen 5 kW-Belichter mit Fe-dotierten Quecksilberdampf lampen und einem Emissionsmaximum von 365 nm, gemessen durch die Filmvorlage an einer transparenten Stelle mit ORC UV Model UV-350.

Die erreichte Stoufferstufe ist von einer Vielzahl an Parametern abhängig, z. B. von der Entwicklungsgeschwindigkeit, dem Sprühdruk, der Entwicklertemperatur und ggf. dem -medium.

Abbildung 5: Grafische Darstellung der Belichtungsenergie in Abhängigkeit der Stoufferstufe von Elpemer® GL 2467

Das dargestellte Verhältnis wurde unter idealen Laborbedingungen bestimmt; es wird durch prozess- und anlagenbedingte Parameter stark beeinflusst.

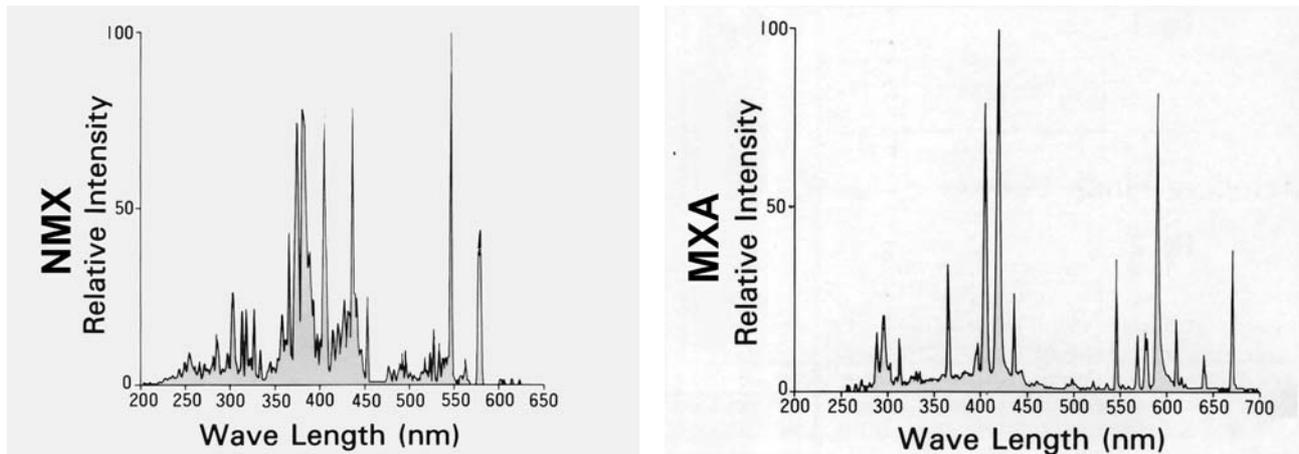
UV-Strahler

Für die Belichtung der **Elpemer®** Lötstopplacke sind eisendotierte Quecksilberdampflampen mit einem Emissionsmaximum bei 365 nm geeignet. Für weiße **Elpemer®** Lötstopplacke können auch galliumdotierte Strahler mit einem Emissionsmaximum bei 405/420 nm eingesetzt werden; dadurch kann die Belichtungszeit um bis zu 30 % verkürzt und der Undercut deutlich reduziert werden. Mischdotierte und undotierte Strahler sind aufgrund ihres Emissionsspektrums nicht geeignet.

Bei Wechsel des eingesetzten Lötstopplackes muss darauf geachtet werden, dass nicht nur der Strahler, sondern auch der Integrator, der die Strahlungsenergie misst und bei nachlassender Belichtungsenergie die Belichtungszeit verlängert, ggf. ausgetauscht werden muss.

Die Reflektoren des Strahlers müssen so konstruiert sein, dass der gesamte Belichtungsrahmen mit der gleichen Lichtenergie ($\pm 10\%$) ausgeleuchtet wird.

Bei wassergekühlten Strahlern (empfohlen, um eine niedrige Temperatur beim Belichten zu erzielen) ist, um eine Energiereduzierung zu vermeiden, beim Strahlerwechsel auch die Glasummantelung



auf Verfärbung und Verschmutzung zu kontrollieren.

**Abbildung 6 links: Spektrum eines eisendotierten Strahlers, Peak bei 365 nm (Typ NMX 7000H)
rechts: Spektrum eines galliumdotierten Strahlers, Peak bei 405/420 nm (Typ MXA 7000H)
(Quelle: ORC Manufacturing Vertriebs GmbH, Düsseldorf, www.o-r-c.de)**

Fotovorlage

Als Fotovorlage können Diazo- oder Silberhalogenidfilme verwendet werden.

Die Vor- und Nachteile der Fotovorlagen sind gegeneinander abzuwägen:

- bei einer optischen Registrierung sind Diazofilme besser geeignet, da man durch die UV-undurchlässigen Stellen sehen und somit das Layout besser mit der Vorlage in Übereinstimmung bringen kann
- die Auflösung des Lötstopplacks ist u. a. auch vom Abstand der Fotovorlage zum Lötstopplack bei der Belichtung abhängig (Unterstrahlung). Diazofilme sind zwar elastischer als und schmiegen sich der Leiterstruktur besser an; dafür sind sie dicker als Silberhalogenidfilme, wodurch dieser Vorteil teilweise aufgewogen wird.
- da Silberhalogenidfilme schwarz sind, heizen sie besonders bei sehr großen, abgedeckten Stellen den Lötstopplack bei der Belichtung stärker auf und können das Kleben am Lötstopplack verstärken (nur bei schlecht gekühlten Strahlern von Bedeutung)
- die Fotovorlagen absorbieren bei der Belichtung einen Teil der UV-Energie, daher sollte beim Messen der Belichtungsenergie immer ein Film mit aufgelegt werden. Diazofilme absorbieren ca. 50 % der UV-Energie, Silberhalogenidfilme ca. 25 %.

Der Einsatz von sogenannten Schutzfolien, die auf die Filmschicht laminiert werden, um die Standzeiten der Fotovorlagen zu erhöhen, ist sehr sorgfältig zu prüfen. Diese Schutzfolien absorbieren zusätzlich UV-Energie und vergrößern den Abstand zum Lötstopplack. Dadurch wird das Auflösungsvermögen des Lötstopplacks durch Unterstrahlung reduziert sowie die Belichtungszeit verlängert.

→ Schneiden Sie die Filmvorlage kleiner als den Leiterplattennutzen oder maximal gleich groß, damit zwischen Filmvorlage und Lötstopplack ein Vakuum aufgebaut werden kann bzw. durch eine durch das Vakuum am Rand hochgedrückte Filmvorlage keine Missregistrierung im Randbereich entsteht. Die Filmvorlage wird immer mit der beschichteten Seite auf den Lötstopplack aufgelegt.

Belichtungsenergie

Die für den **Elpemer**[®] Lötstopplack notwendige Belichtungsenergie ist im entsprechenden Prozessdatenblatt angegeben. Es wird die benötigte Wellenlänge des UV-Strahlers in nm und die Belichtungsenergie in mJ/cm² sowie die nach der Entwicklung auf einer Kupferfläche resultierende Graustufe (Stoufferstufe) angegeben.

Bei der Messung der Belichtungsenergie mit einem Messgerät ist, je nach verwendeter Messsonde darauf zu achten, dass das verwendete Messgerät abgeglichen wird, da die Geräte unterschiedlicher Hersteller sehr unterschiedliche Werte anzeigen. Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass das Messgerät für den entsprechenden Wellenlängenbereich geeignet ist.

Bei der Bestimmung der Graustufe wird ein 21stufiger Stoufferkeil, ein immer lichtundurchlässiger werdender Filmstreifen, auf den Lötstopplack gelegt, so dass diese mit unterschiedlichen Belichtungsenergien bestrahlt wird. Bei der Belichtung der Testplatten muss unbedingt auf den Graustufenkeil entsprechendes Filmmaterial mit aufgelegt werden, da dieses nicht unbeträchtlich UV-Licht absorbiert.

Nach dem Entwicklungsprozess wird die Stoufferstufe bestimmt, die Stufe, die gerade noch abgewaschen/entwickelt wurde. Es wird die Belichtungszeit gewählt, bei der die Graustufe erreicht wird, die das entsprechende Prozessdatenblatt angibt. So wird die Belichtungszeit für Leiterplatten mit Durchkontaktierungen bis zu 4 mm eingestellt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Stoufferstufe auch durch die Entwicklungsgeschwindigkeit, den Sprühdruk, die Entwicklertemperatur und das –medium beeinflusst wird.

Für Leiterplatten, die aufgrund von sehr großen Löchern oder Langlöchern eine verlängerte Entwicklungszeit benötigen, ist zuerst die Entwicklungszeit zu bestimmen, die zur Freientwicklung dieser Löcher notwendig ist. Dann wird durch Belichtungstests mit dem Stufenkeil festgelegt, welche Belichtungszeit anzuwenden ist. In der Praxis hat sich bei Applikationsverfahren, bei denen Löcher und Durchkontaktierungen mit Lötstopplack beschichtet werden, eine Kombination beider Methoden bewährt.

Die Belichtungsenergie sollte weitgehend in den im Prozessdatenblatt angegebenen Grenzen gehalten werden, da eine Unterbelichtung zu einer stärkeren Unterspülung, eine Überbelichtung zu einer Unterstrahlung der Fotovorlage führt. Beide Effekte verschlechtern die Auflösung. Außerdem steigt bei einer Überbelichtung die Gefahr der Durchbelichtung auf der zweiten Leiterplattenseite.

Bei dünnem Basismaterial (< 1 mm) ist in einem Belichtungs- und Entwicklungstest abzusichern, dass es nicht zu Durchbelichtungen bei den vorgegebenen Belichtungsparametern kommt.

Besonders gefährdet sind doppelseitige SMD (surface mounted devices) Layouts, bei denen die Pads auf beiden Seiten nicht deckungsgleich sind. Im Falle von Durchbelichtungen müssen diese Leiterplatten einseitig verarbeitet werden oder lichtundurchlässiges Basismaterial zur Anwendung kommen.

Eine optimale Belichtung, verbunden mit einer optimalen Entwicklung, ist immer dann gegeben, wenn die Stegbreite auf der Fotovorlage mit der Stegbreite auf der Leiterplatte übereinstimmt.

Abbildung 7 zeigt in Beispiel 3 ein optimales Belichtungs-/Entwicklungsergebnis:

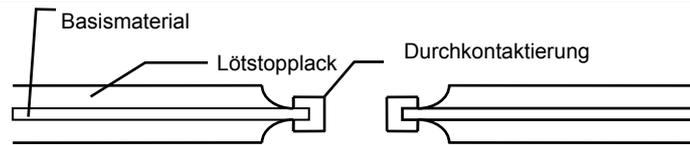


Abbildung 7.1: Überbelichtung bzw. Unterentwicklung

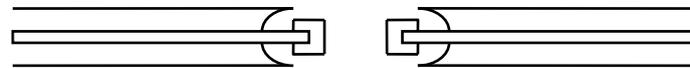


Abbildung 7.2: Unterbelichtung bzw. Überentwicklung (Undercut)



Abbildung 7.3: optimale Abstimmung von Belichtung und Entwicklung

Abbildung 7: Schematische Darstellung von Schliffbildern (Querschnitten) freientwickelter Durchkontaktierungen

Haltezeit

Nach der Belichtung wird je nach Lacksystem eine Haltezeit von beispielsweise 10 min empfohlen. Dieser Prozessschritt dient dazu, die während der Belichtung angeregte fotochemische Reaktion zu optimieren.

Entwickeln – Spülen – Trocknen

Die Prozessschritte Belichten und Entwickeln sind im Zusammenhang zu betrachten, da sie aufeinander abgestimmt werden müssen (siehe auch Punkt „Belichten“).

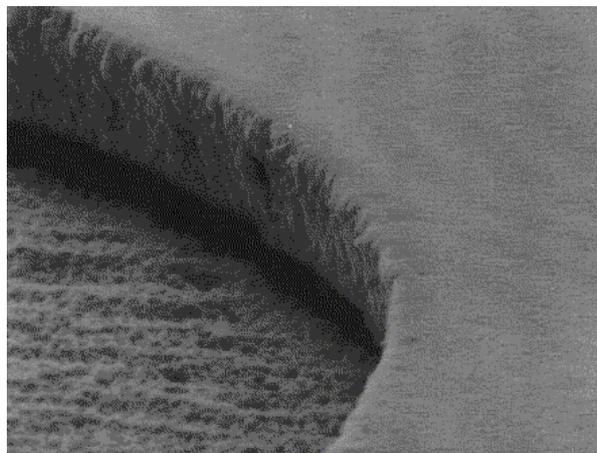
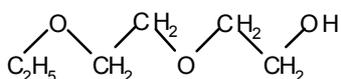


Abbildung 8: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme einer Elpemer® Lackflanke (700fache Vergrößerung)

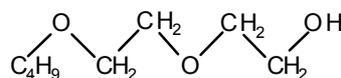
Entwicklermedien

Entsprechend der Löslichkeit der eingesetzten Harze sind die Entwicklermedien für die verschiedenen **Elpemer®** Lötstopplacke unterschiedlich. Folgende Entwicklermedien kommen zur Anwendung:

- für die polyalkohol-entwickelbaren Lötstopplacke



EDG: Ethyldiglykol ($\text{C}_6 \text{H}_{14} \text{O}_3$)



BDG: Butyldiglykol ($\text{C}_8 \text{H}_{18} \text{O}_3$)

- für die wässrig-alkalisch entwickelbaren Lötstopplacke Alkalien wie z. B. Natriumcarbonatlösung $\text{Na}_2 \text{CO}_3$

Polyalkoholentwicklung

Bei der Entwicklung in Polyalkoholen handelt es sich um einen physikalischen Löseprozess. Der bei der Vortrocknung angetrocknete und beim Belichtungsprozess nicht belichtete Lack wird wieder in Lösung gebracht. Für die Lösegeschwindigkeit sind das Entwicklermedium, die Entwickler-temperatur, der Sprühdruck und die Entwicklerbeladung verantwortlich. Entwicklungsprozesse in Polyalkoholen sollten relativ kalt gefahren werden (ca. 25-30 °C), da der Entwicklungsprozess auch bei niedrigen Temperaturen recht zügig abläuft, und höhere Temperaturen das Ergebnis an den Flanken (Unterspülen) negativ beeinflussen. Die zur Entwicklung eingesetzten Polyalkohole haben ein Fließverhalten, das beim Umpumpen der Entwicklerlösung relativ schnell zur Erwärmung führt. Um die Entwicklungstemperatur niedrig zu halten, ist für eine ausreichende Kühlung zu sorgen. Damit die Einwirkung des Entwicklers auf den Lötstopplack beendet wird, muss unmittelbar nach der Entwicklerzone eine Wasserspülung folgen.

In umfassenden Versuchen konnte die ausgezeichnete Eignung des Entwicklermediums EDG im Vergleich zu BDG festgestellt werden:

So ist die Entwicklungszeit um ca. 25 % kürzer, ohne dass die Belichtungszeit verändert werden muss, oder eine schlechte Freientwicklung zu beobachten ist. Lediglich die Empfindlichkeit des Lackes in der Hochdruckpumpenzone ist bei EDG etwas größer, was aber durch entsprechende Einstellung des Sprühdruckes ohne Probleme kontrollierbar ist.

Auch bei der Betrachtung des Undercut konnte festgestellt werden, dass die Entwicklung in EDG sich vergleichsweise günstig darstellt. So wurde bei der Realisierung von 100 µm-Stegen ein Undercut von maximal 10 µm gemessen, was eine Reduzierung von über 30 % im Vergleich zu BDG bedeutet.

Bei der Auswahl des Entwicklermediums ist auch zu berücksichtigen, dass EDG unter die VOC-Richtlinie fällt, während BDG nicht als VOC eingestuft wird (siehe auch Punkt „Anmerkung zum Umweltschutz“).

Wässrig-alkalische Entwicklung

Der Begriff wässrig-alkalische Entwicklung ist zwar eingeführt, aber eigentlich falsch gewählt. Nach der allgemeinen Formel:

Säure + Lauge → Salz + Wasser

wird bei der Entwicklung die Carboxylgruppe im Harz des Lackes mit Soda zu einem wasserlöslichen Salz umgesetzt. Dieses Salz wird mit Wasser gelöst und abgespült. Die Reaktion bei wässrig-alkalischen Lötstopplacken läuft prinzipiell wie folgt ab:



Dieser Entwicklungsprozess benötigt eine gewisse Reaktionstemperatur. Somit sollte der Entwicklungsprozess in der Regel bei Temperaturen von 32-38 °C gefahren werden. Grundsätzlich laufen wässrig-alkalische Entwicklungsprozesse schneller ab als in Polyalkohol. Ein Stoppen des Prozesses durch eine Wasserspülung ist ebenfalls notwendig. Durch das Abspülen der Sodalösung wird verhindert, dass „restliche“ Sodalösung den Lack weiter löst bzw. entwickelt. Durch diesen Spülprozess wird die Ausbildung eines starken Undercuts verhindert.

Entwickeln

Beim Entwickeln sind einige grundsätzliche Überlegungen vom Entwicklermedium unabhängig. Der Entwickler ist als Mehrfachkaskade vorzusehen, sowohl im eigentlichen Entwicklungsbereich als auch in der Spülzone. Die Zudosierung von frischer Entwicklerlösung bzw. Frischwasser erfolgt immer von der in Durchlaufrichtung letzten Kammer, während aus der jeweils ersten Kammer eine entsprechende Menge abgepumpt wird; so nimmt die Beladung des Entwicklermediums bzw. des Spülwassers in Durchlaufrichtung ab.

Randabdeckung

Beim Prozessschritt Entwicklung soll der Lötstopplack von den Flächen der Leiterplatte entfernt werden, die bei der Belichtung durch die Fotovorlage abgedeckt waren. Hier stellt sich die Frage, wie die Randbereiche der Leiterplatte bzw. des Leiterplattennutzens behandelt werden. Es bietet sich in der Regel an, den Rand völlig zu belichten, da sonst der Entwickler schneller mit abgelöstem Lack beladen würde, und ein freientwickelter Rand bei Nachfolgeprozessen mitbehandelt werden muss (Hot-Air-Levelling, chem. Ni/Au oder andere Prozesse).

→ Achten Sie auf jeden Fall darauf, dass Belichten oder Nichtbelichten des Randes eindeutig durchgeführt werden.

Ein großes Problem verursacht ein nicht lichtdicht abgedeckter Rand. Beim Entwickeln bildet sich ein nicht vollständig abentwickelbarer „Schmier“, der sich auf das Transportsystem des Entwicklers setzt und auf freientwickelten Stellen wieder abgestempelt wird. Es entstehen Stellen, die in Nachfolgeprozessen nicht benetzbar sind.

Entwicklung aus Durchkontaktierungen

Unabhängig von der Applikationsmethode wird beim Beschichten Lack in Bohrungen, Durchkontaktierungen, Durchbrüchen o. ä. eingebracht. Beim Gießverfahren sind im Wesentlichen größere Bohrungen betroffen; kleinere Bohrungen werden in der Regel mit einem „Lackhäutchen“ überspannt, welches während des Ablüftens zerreißt. Im Siebdruckverfahren, insbesondere dem doppelseitigen Siebdruck, werden eher kleinere Bohrungen mit Lack gefüllt; hier kann es zu einer regelrechten Pfropfenbildung kommen.

Zur Freientwicklung von größeren Bohrungen ist es wichtig, mit einem relativ hohen Sprühdruk (ca. 4 bar) und Flachstrahldüsen zu arbeiten. Die Düsen müssen in einem Winkel von ca. 60° zur Leiterplattenoberfläche ausgerichtet sein, damit das Entwicklermedium möglichst lange und mit einem möglichst hohen Druck auf den Lack in den Bohrungen einwirken kann.

Die Entwicklungszeit richtet sich hierbei nach der Zeit, die benötigt wird, um den Lack aus den Löchern zu entfernen. Bei diesen Entwicklungsbedingungen wird allerdings zwangsläufig eine stärkere Unterspülung (Undercut) der Lackflanken erzielt, weil diese Bereiche zu lange entwickelt und somit zu stark angegriffen werden.

Wenn bei der gewählten Applikationsart wenig Lack in Löcher eingebracht wurde (dies gilt insbesondere für den horizontalen Siebdruck mit Bohrlochabdeckung bzw. die Sprühapplikation), kann die Entwicklungszeit unter Umständen deutlich reduziert werden und auch der Sprühdruk auf ca. 2 bar abgesenkt werden. Durch diese Maßnahmen ist das Unterspülen geringer und es wird möglich, wesentlich höhere Auflösungen zu erzielen.

Um eine sichere Freientwicklung von kleineren Bohrungen ($\leq 0,4$ mm) zu erreichen, muss möglichst häufig Entwickler an die zu entwickelnde Stelle gebracht werden. Dies ist bei verstopften Bohrungen nicht ohne weiteres möglich. Hier müssen im ersten Drittel des Entwicklungsprozesses die Durchkontaktierungen mit hohem Druck und senkrecht stehenden Düsen für die Entwicklerlösung durchlässig gesprüht werden. Im weiteren Entwicklungsprozess werden die Durchkontaktierungen mit wenig Druck gründlich durchströmt, um die Entwicklerlösung an den Lack in den Löchern heranzuführen. Bewährt hat sich hierbei der Einsatz von Schwalldüsen.

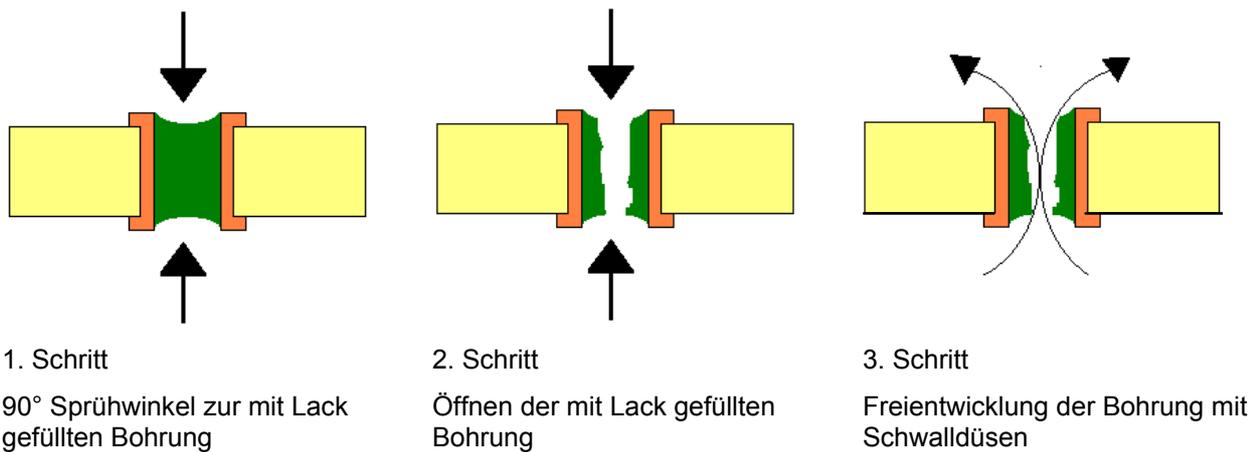


Abbildung 9: Schematische Darstellung einer Freientwicklung mit Schwalldüsen

Filtration der Entwicklerlösung

Die Entwicklerlösung wird vor allem in der ersten Entwicklerzone sehr stark mit herausgelösten Lackbestandteilen beladen. Um die Verquetschung dieser Lackreste auf schon freientwickelte Stellen zu verhindern, sollte der Entwickler immer über ein geeignetes Filtersystem geführt werden. Ebenfalls ist es empfehlenswert, den Entwickler in der ersten Entwicklerkammer über eine Zentrifuge zu führen. Dadurch werden Feststoffanteile in einem hohen Maß abgesondert und der Reinigungsaufwand des Entwicklers stark minimiert.

Austausch der Entwicklerlösung

Für eine stabile Prozessführung ist es angebracht, die Entwicklerlösung permanent (über einen Leiterplatteneinlaufsensor gesteuert) zu erneuern („bleed and feed“).

Der Sättigungsgrad der Polyalkohol-Entwickler wird in der Regel in Prozent angegeben. Die durchschnittlich entwickelte Fläche kann statistisch überschlagen und die benötigte Menge Entwicklerlösung errechnet werden. Eine Prozesskontrolle der Beladung sollte parallel auf jeden Fall durchgeführt werden. Langjährige Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass eine sichere Fertigung, unabhängig davon ob BDG oder EDG als Entwicklermedium eingesetzt wird, bis zu einem Beladungsgrad von 2 % Festkörper gewährleistet ist. Vielfach ist eine sehr schnelle und aussagekräftige Überprüfung durch das Bestimmen des spezifischen Gewichtes der Entwicklerlösung möglich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das spezifische Gewicht sehr stark von der Temperatur abhängig ist.

Der Verbrauch an BDG/EDG lässt sich wie folgt berechnen:

Berechnungsgrundlagen:	Nassauftragsmenge Lack	100 g/m ²
	Trockenmasse Lack nach der Vortrocknung (64 % Festkörper)	64 g/m ²
	Prozentualer Anteil zu entwickelnder Fläche (Durchschnittswert)	10 %

Hieraus resultiert eine zu lösende Lackmenge von 6,4 g/m²

Bei einer 2%igen Beladung ergibt sich eine benötigte Entwicklermenge von 320 g/m²

Für 1 m² doppelseitig beschichtete Leiterplatte werden also ca. **640 g** BDG/EDG benötigt.

Da der Anteil der zu entwickelnden Fläche eine sehr schwankende Größe ist, sollte zur Erhöhung der Prozesssicherheit eine „Sicherheitsreserve“ vorgesehen werden.

Zur Prozessüberwachung wässrig-alkalischer Entwicklermedien haben sich insbesondere pH-Wert-Bestimmungen, die Titration in regelmäßigen Abständen mit 0,1 n HCl gegen Phenolphthalein, die Leitwertbestimmung aber auch die colourmetrische Messung bewährt.

Bei der Berechnung der benötigten Menge Entwickler muss auch berücksichtigt werden, ob in dem Entwickler auch fehlbeschichtete Leiterplatten abgewaschen werden sollen, da hierbei eine große Menge Lack dem Entwickler zugeführt wird. Grundsätzlich ist das Abwaschen im Entwickler nicht zu empfehlen, da das Transportsystem hierdurch sehr stark verschmutzt wird; ggf. kann der „Abwasch“ gesammelt und vor dem nächsten Reinigungszyklus durchgeführt werden.

Übergangszone Entwickler – Wasserspüle

Die Übergangszone zwischen Entwicklerzone und Wasserspüle ist ein sehr kritischer Bereich im gesamten Entwicklungsprozess. Der wichtigste Punkt ist, dass kein Entwicklermedium in die Wasserzone verschleppt werden darf. Hierzu werden Abquetschwalzen und Luftmesser eingesetzt. Die installierten Luftmesser dürfen das Entwicklermedium nicht in die Wasserzone sprühen; auch die aus den Durchkontaktierungen herausgeblasene Entwicklerlösung darf nicht in den Rücklauf der Wasserspüle geführt werden.

Die Abquetschwalzen dürfen auf keinen Fall trocken laufen, sondern müssen an der Entwicklerseite ständig mit Entwicklermedium benetzt werden. Zwischen den freientwickelten Lackflanken befinden sich angelöste Lackreste, die mit dem überschüssigen Entwicklermedium durch die Abquetschwalzen herausgepresst und abgespült werden. Wenn sich diese Reste auf trockenen Abquetschwalzen festsetzen können, werden sie zu einem späteren Zeitpunkt willkürlich auf einer anderen Stelle der Leiterplatte abgestempelt und führen in nachfolgenden Metallisierungsprozessen zu Fehlstellen.

Noch kritischer sind die Abquetschwalzen am Einlauf der Wasserspülung. Diese Walzen sollten so mit Wasser besprüht werden, dass sich auf den in die Wasserzone einlaufenden Leiterplatten ein See bildet. Mit diesem Wasser werden gelöste Lackbestandteile abgespült.

Nach der Spülung der Leiterplatten mit demineralisiertem Wasser in einer Dreifachkaskade werden Wasserrückstände zunächst über Luftmesser abgeblasen und anschließend die Leiterplatten in einem Trockner durch Heißluft so getrocknet, dass sie ohne Wasserrückstände den Entwickler verlassen.

Wartung des Entwicklers

Der Wartungsaufwand für den Entwickler ist stark von der Belastung abhängig. Empfehlenswert ist eine wöchentliche Komplettreinigung. Mindestens zum Schichtwechsel sollten die Transportwalzen gereinigt werden, die oben beschriebenen Abquetschwalzen ggf. noch häufiger. Ebenfalls sollten die Düsenstöcke mindestens zum Schichtwechsel auf verstopfte Düsen überprüft werden.

UV-Bump (optional)

Ein UV-Bump (UV-Nachvernetzung mit 500-2000 mJ/cm²) vor und/oder nach der thermischen Härtung wirkt sich positiv aus hinsichtlich

- der ionischen Kontamination durch die HAL-Flussmittel
- Vermeidung weißlicher Verfärbungen durch nachfolgende Reinigungsprozesse
- Vermeidung von Fleckenbildung in nachfolgenden Finish-Prozessen.

Der UV-Bump **vor** der Endhärtung hat zudem dem Vorteil, dass die Kondensatbildung während der Endhärtung verringert wird.

→ Sichern Sie den Einsatz eines UV-Bumps durch Vorversuche ab, da hierdurch die Beständigkeit in chemischen Nachfolgeprozessen und die Haftung nachfolgender Beschichtung sowohl positiv als auch negativ beeinflusst werden kann.

→ Beachten Sie die Angaben zur UV-Dosis in den jeweiligen Prozessdatenblättern.

Der UV-Bump nach der Endhärtung kann bei Durchlauf-Endhärteöfen direkt im Anschluss (in-line) erfolgen. Grundsätzlich ist eine regelmäßige Überwachung der Strahlerleistung und des Strahleralters über einen Betriebsstundenzähler notwendig.

→ **Führen Sie bei den flexiblen Elpemer® Lötstopplacken keinen UV-Bump durch, dass diese Lacke hierdurch verspröden.**

Optische Kontrolle

Vor der Endhärtung sollte eine optische Kontrolle auf Freientwicklung, insbesondere aus den Durchkontaktierungen, Registriergenauigkeit und Fehlstellen durchgeführt werden. Zu diesem Zeitpunkt können Leiterplatten, die eine oder mehrere der o. g. Fehlerbilder zeigen, in 5%iger NaOH oder KOH oder dem Spezial-Stripper **HP 5707** abgewaschen werden. Nach der Endhärtung ist der Lackfilm so stabil, dass ein Strippen praktisch nicht mehr möglich ist.

Thermische Härtung (Endhärtung)

Bei der Endhärtung wird die chemische Vernetzung der Lackkomponenten vollzogen. Dieser Prozess ist für die mechanischen, chemischen und elektrischen Eigenschaften des Lötstopplacks verantwortlich. Daher ist die Einhaltung der im Prozessdatenblatt angegebenen Parameter zwingend notwendig.

Ob die Endhärtung in einem Kammerofen oder einem Konvektionsdurchlaufofen durchgeführt wird, ist nicht qualitätsrelevant.

Es ist zu beachten, dass

- die im jeweiligen Prozessdatenblatt angegebene Temperatur im gesamten Ofenraum gleichmäßig erreicht wird
- insbesondere in der Anfangsphase der thermischen Härtung eine optimale Führung der Um- und Abluft erfolgt, so dass es nicht zu einer Kondensatbildung kommen kann (s. a. den Hinweis zum Thema „Kondensat“ unter dem Punkt „Vortrocknen“)
- die eigentliche Einbrennzeit erst zu dem Zeitpunkt beginnt, an dem die Leiterplatten die spezifizierte Temperatur erreicht haben (Objekthaltezeit). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Leiterplattendicke die Aufheizzeit erheblich beeinflusst.

Für ein problemloses Handling sollten die Leiterplatten bei Durchlauföfen am Ende des Einbrennprozesses auf Temperaturen leicht oberhalb der Raumtemperatur abgekühlt werden.

Bei Standöfen ist es empfehlenswert, den Ofen während des gesamten Einbrennens zu verriegeln. Im Rahmen der Qualitätssicherung wird dadurch sichergestellt, dass der Ofen nicht zwischendurch geöffnet werden kann, wodurch die vorgegebene Einbrenntemperatur unkontrolliert abgesenkt würde.

Beim Verfüllen von Durchsteigerbohrungen (Via Holes) muss eine rampenförmige Aushärtekurve eingestellt werden, um möglicherweise eingeschlossene Restlösemittel auszutreiben, z. B. 1-3 h bei 110 °C, anschließend Endhärtung gemäß Prozessdatenblatt.

Die Aushärtebedingungen hängen auch von der eingebrachten Menge an Lötstopplack ab, Führen Sie Vorversuche durch, um die optimalen Parameter zu ermitteln.

Eine reine IR-Endaushärtung ist grundsätzlich möglich, bedarf aber einer genaueren Prozessbetrachtung. Bei Fragen wenden Sie sich bitte an unsere Anwendungstechnische Abteilung (ATA).

→ Ermitteln Sie geeignete IR-Aushärteparameter durch Vorversuche und stellen Sie dabei sicher, dass die Vernetzung vollständig abgeschlossen ist und die End Eigenschaften erreicht werden.

Literaturhinweise

Als Ergänzung zu den in dieser Applikations-Information gegebenen Empfehlungen können wir Ihnen Fachreferate und Technische Informationen aus unserem Hause zur Verfügung stellen. Diese stehen auf unserer Website www.peters.de zum Download bereit.

Als weitere Literatur empfehlen wir:

Dr. Manfred Suppa, Hrsg. Werner Peters: „Schutzlacke für elektronische Baugruppen“
2. Auflage, 2010, Lackwerke Peters GmbH + Co KG, ISBN 978-3-00-032764-3

Werner Jillek, Gustl Keller: „Handbuch der Leiterplattentechnik“, Band 4
unter Mitarbeit von 31 Mitautoren, u. a. von Werner Peters, Rüdiger Dietrich, Michael Müller und Dr. Manfred Suppa (sämtlich Mitarbeiter unseres Hauses), Eugen G. Leuze Verlag, Bad Saulgau, 2003, ISBN 3-87480-184-5

Hans Gerd Scheer: „Siebdruck-Handbuch“
Verlag Der Siebdruck, Lübeck, 1999, ISBN 3-925402-41-1.

Haftungsausschluss

Beschreibungen und Ablichtungen unserer Ware und Produkte in technischen Unterlagen, Katalogen, Prospekten, Rundschreiben, Anzeigen, Preislisten, Webseiten, Datenblättern, Informationsblättern, insbesondere die in dieser Druckschrift genannten Informationen, sind unverbindlich soweit ihr Einbezug in den Vertrag nicht ausdrücklich vereinbart wurde. Das gilt auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter.

Die Produkte sind ausschließlich für die im jeweiligen Merkblatt angegebenen Anwendungen vorgesehen. Sie befreien den Kunden nicht von eigenen Prüfungen insbesondere im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Haben Sie noch Fragen?

Wir beraten Sie gerne und helfen Ihnen bei der Lösung Ihrer Probleme. Auf Anfrage senden wir Ihnen Muster und Technische Druckschriften zu.

Lackwerke Peters GmbH & Co. KG
Hooghe Weg 13, 47906 Kempen, Deutschland

Internet: www.peters.de
E-Mail: peters@peters.de

Telefon +49 2152 2009-0
Telefax +49 2152 2009-70

peters
Coating Innovations
for Electronics