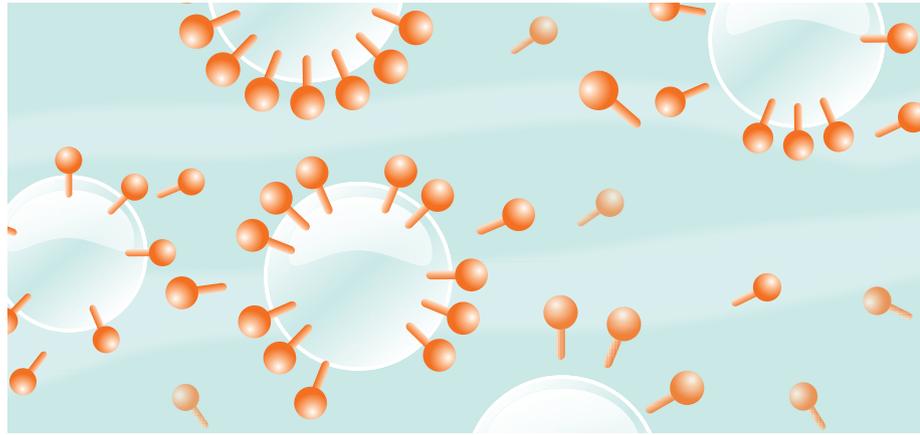


# Entlüfter

TEGO® Airex



Abbildung 1: Tensidische Substanzen orientieren sich an der Grenzfläche Luft/Flüssigkeit



## Schaum – ein bekanntes Problem

Schaum ist eines der häufigsten Probleme, denen sich ein Lackformulierer bei der Entwicklung von Lacken, Farben und Druckfarben stellen muss. Insbesondere in wässrigen, strahlenhärtenden, lösemittelfreien oder High Solid Formulierungen ist Schaum ein zentrales Thema.

Schaum ist eine stabile Verteilung von Gasbläschen (meistens Luftbläschen) in einer Flüssigkeit. Reine Flüssigkeiten schäumen allerdings nicht. Erst wenn Substanzen mit tensidischer Struktur in der Flüssigkeit vorhanden sind, kann stabiler Schaum entstehen.

Tensidische Substanzen mit ihrem hydrophilen und hydrophoben Anteil orientieren sich bevorzugt an Grenzflächen zwischen Flüssigkeit und Luft. Eingeschlossene oder eingetragene Luft in einer Flüssigkeit stellt eine solche Grenzfläche dar. Tensidische Substanzen orientieren sich somit an dieser Grenzfläche und stabilisieren die Luftblasen – stabiler Schaum entsteht.

### Schaum ist nicht gleich Schaum

Man kann zwei Arten von Schaum unterscheiden: Makroschaum und Mikroschaum. Eine Unterscheidung zwischen den beiden Schaumarten ist jedoch oft schwierig, da sie häufig auch gemeinsam auftreten. Im Allgemeinen wird dann einfach von „Schaumproblemen“ gesprochen.

Im Prinzip ist eine Abgrenzung zwischen Makro- und Mikroschaum aber möglich: Makroschaum befindet sich auf bzw. in der Lackoberfläche – Mikroschaum ist in der Lackschicht zu finden. Beide Schaumarten lassen sich sowohl im noch flüssigen Lackmaterial, als auch im getrockneten/ gehärteten Lackfilm unterscheiden.

Makroschaumblasen im flüssigen Lack sind in der Regel Luftblasen, die von einem Duplexfilm einer sogenannten Tensiddoppelschicht umgeben sind. Hier existieren zwei Grenzflächen Flüssigkeit/Luft. Mikroschaumblasen können als Lufteinschlüsse bezeichnet werden, die

nur eine Grenzfläche Flüssigkeit/Luft aufweisen. Auch in dieser Grenzfläche orientieren sich tensidische Substanzen und „umhüllen“ die Mikroschaumblase (Abb. 1).

Unter der Bezeichnung TEGO® Foamex bietet Evonik Lackadditive an, die vorzugsweise Makroschaum beseitigen können, vor allem in wässrigen Formulierungen. Abhängig vom Aufbau des Additivs sind sie aber auch gegen Mikroschaum wirksam.

Im „Technischen Hintergrund Entschäumer“ werden diese Produkte ausführlich beschrieben.

Additive mit der Bezeichnung „TEGO® Airex“ wirken überwiegend gegen Mikroschaum, obwohl auch hier positive Effekte bei der Bekämpfung von Makroschaum erzielt werden. Die Wirkungsweise und Anwendung der Produktfamilie TEGO® Airex soll im Folgenden beschrieben werden.



Abbildung 2: Wässrige, airless applizierte Holzlackbeschichtung

## Mikroschaum – erkennbar meist erst auf den zweiten Blick

Viele Lackierprobleme werden nicht direkt mit Mikroschaum in Verbindung gebracht. Hinzu kommt, dass man Luft-einschlüsse oft erst durch optische Hilfsmittel wie z. B. Lupe oder Mikroskop erkennen kann.

So kann zum Beispiel ein Trübungseffekt oder eine Glanzreduzierung in einer Lackbeschichtung durch Mikroschaumblasen hervorgerufen werden. Ein unerwünschter Effekt in z. B. hochglänzenden Formulierungen (Abb. 2).

Ebenso kann vorzeitige Korrosion durch Mikroschaumblasen begünstigt werden, da diese die effektive Schichtstärke der Korrosionsschutzbeschichtung reduzieren. Zudem können sich Mikroschaumblasen während der Lacktrocknung zu kleinen Nadelstichen ausbilden. Dies sind kleine Kanäle, die bis auf den metallischen Untergrund reichen können. Die Schutzfunktion der Beschichtung ist beeinträchtigt und Korrosion kann schneller voranschreiten.

### Wie entsteht Mikroschaum?

Mikroschaum sind kleine Luft- oder Gasbläschen, die sich in der Lackbeschichtung befinden. Tensidische Strukturen, wenn vorhanden, orientieren sich in der Grenzfläche Flüssigkeit/Luft, also der Luft- oder Gasblase und stabilisieren diese (Abb. 1).

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie Luft oder Gas in die Lackbeschichtung eingetragen wird:

- durch Rühren/Mischen/Dispergieren bei der Lackherstellung
- Mischen bei der Härterzugabe von 2-Komponenten-Systemen
- Applikationsverfahren wie Rollen, Tauchen, Spritzen und vor allem Airless-/Airmix-Spritzen
- Freiwerden von Gas durch chemische Prozesse bei der Lackhärtung (z. B. CO<sub>2</sub>-Abspaltung durch Reaktion von Isocyanat mit Wasser)
- Applikation auf poröse Untergründe wie Holz, Stein oder Estrich (in Poren eingeschlossene Luft steigt in die Beschichtung auf)

Neben den tensidischen Strukturen spielen aber noch zwei weitere Faktoren bei der Entstehung von Mikroschaum eine entscheidende Rolle:

- die Lackviskosität
- die Größe der Luft- oder Gasblasen

### Mikroschaum – Zusammenhang von Lackviskosität und Blasengröße

Beide genannten Faktoren stehen in einem engen Zusammenhang durch das sogenannte Stoke'sche Gesetz.

In seiner vereinfachten Form mit:

$$v \sim r^2 / \eta$$

$v$  = Aufstiegs­geschwindigkeit der Schaumblase

$r$  = Radius der Schaumblase

$\eta$  = Viskosität der Lackformulierung  
wird dieser Zusammenhang sofort sichtbar (Abb. 3).

Ist die Lackviskosität  $\eta$  relativ hoch, ist die Aufstiegs­geschwindigkeit der Luft-/Gasblase entsprechend der Gesetzmäßigkeit nach Stoke relativ klein. So steigen Luft-/Gasblasen insbesondere in relativ hochviskosen Formulierungen (z. B. High Solids oder UV-Formulierungen, Fußbodenbeschichtungen, Dickschichtlasuren, Korrosionsschutzbeschichtungen) nur sehr langsam an die Lackoberfläche. Die Trocknung/Aushärtung des Lackfilms schreitet weiter voran, was zu einem weiteren Anstieg der Lackviskosität führt. Die Folge: Luft-/Gasblasen verharren regelrecht im Lackfilm und führen zu dem bekannten Problem Mikroschaum.

Das Stoke'sche Gesetz zeigt aber noch einen weiteren wichtigen Zusammenhang: Die Größe der Luft-/Gasblase hat einen weit wichtigeren Einfluss auf die Aufstiegs­geschwindigkeit als die Lackviskosität, da der Radius der Schaumblase zum Quadrat in die Berechnung eingeht.

Abbildung 4 zeigt basierend auf dem Stoke'schen Gesetz die Aufstiegs­geschwindigkeit einer Luft-/Gasblase bei konstanter Viskosität in Abhängigkeit von ihrem Radius, sprich der Größe.

Bei sehr großen Luft-/Gasblasen steigt die Aufstiegs­geschwindigkeit exponentiell an. Diese Blasen gelangen dann während der Lackhärtung oder Trocknung an die Lackoberfläche, wo sie den so genannten Makroschaum bilden und mit Hilfe von Entschäumern beseitigt werden können.

Die Frage, die sich jedoch nun stellt, ist: Was geschieht mit kleinen Luft-/Gasblasen, dem Mikroschaum? Eine Antwort gibt der nächste Abschnitt.

Abbildung 3: Aufstiegs­geschwindigkeit abhängig von Lackviskosität und Größe der Schaumblase

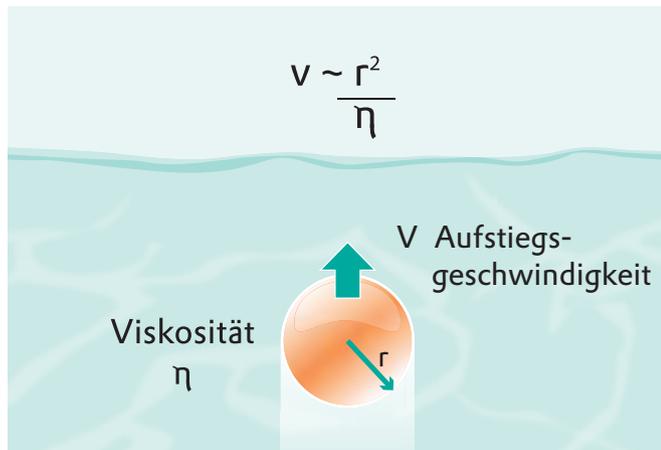
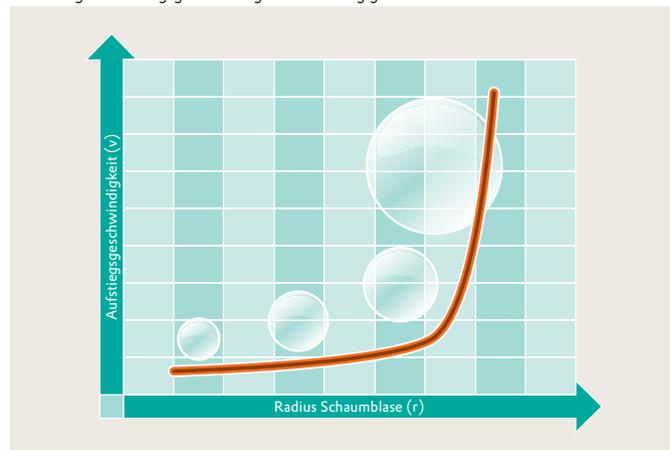


Abbildung 4: Aufstiegs­geschwindigkeit in Abhängigkeit des Radius der Schaumblase





Mikroschaum sofort



Mikroschaum nach 10 Minuten



Mikroschaum nach 20 Minuten

Abbildung 5: Blick durch ein Mikroskop – Auflösen von Mikroschaum mit fortschreitender Zeit, airless-applizierte wässrige Formulierung ohne Entlüfter auf Glas

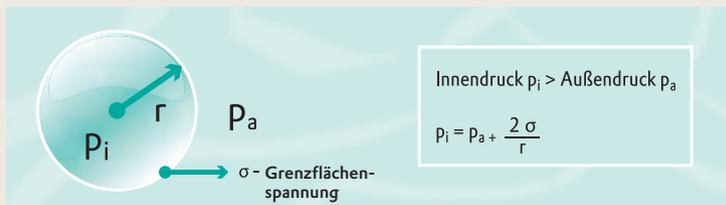
### Können sich Mikroschaumblasen auflösen?

Mikroschaumblasen können sich auflösen. Sie schrumpfen regelrecht, werden immer kleiner, bis sie sich aufgelöst haben. Gut beobachten kann man dieses Phänomen z. B. an einer airless-applizierten Beschichtung, die man während der Trocknungsphase mit Hilfe eines Mikroskops beobachtet. Sehr gut kann man so verfolgen, wie sich Mikroschaumblasen während dieser Zeit verändern (Abb. 5).

Zunächst ist ein Gemisch von unterschiedlich großen Mikroschaumblasen erkennbar. Mit fortschreitender Trocknungszeit verändert sich aber das Bild. Relativ große Blasen werden sehr langsam größer. Kleine Blasen werden immer schneller deutlich kleiner, bis sie nicht mehr erkennbar sind – sich regelrecht aufgelöst haben.

Die treibende Kraft für das Schrumpfen der Mikroschaumblasen ist der so genannte Laplace-Druck der Schaumblase. Der Laplace-Druck ist abgeleitet aus der Young-Laplace-Gleichung und beschreibt das Verhältnis des Innendrucks einer Mikroschaumblase zum Außendruck des die Blase umgebenden Mediums. Je kleiner die Mikroschaumblase wird, desto stärker steigt der Innendruck der Blase gegenüber dem Außendruck an. Dieser Druckunterschied führt dazu, dass die Luft aus der Blase in das sie umgebende Medium diffundiert und sich dort löst. Die Diffusion und damit das Schrumpfen der Luft-/Gasblase setzt sich fort und zwar immer schneller, je kleiner die Blase wird.

#### Young-Laplace Gleichung



Der Innendruck einer Luftblase ist größer als der Außendruck, da der Effekt der Grenzflächenspannung  $\sigma$  überwunden werden muss. Der Quotient aus Grenzflächenspannung und Radius der Luftblase  $2\sigma/r$  wird umso größer, je kleiner die Luftblase ist. Damit steigt auch der Innendruck  $P_i$ . Im Falle von kleinen Luftblasen zwischen 10 und 20  $\mu\text{m}$  Durchmesser kann der Innendruck 10 bis 15 % höher sein als der umgebende Außendruck.

#### Laplace Druck

Abgeleitet von der Young-Laplace Gleichung mit  $P_i = P_a + 2\sigma/r$ .

- $P_i$  = Luftblaseninnendruck
- $P_a$  = Luftblasenaußendruck
- $\sigma$  = Grenzflächenspannung
- $r$  = Radius der Luftblase

### Wie wirken Entlüfter?

Wirksame Entlüfter zeigen eine gezielte Unverträglichkeit im zu entlüftenden Medium und im Idealfall eine gewisse Oberflächenaktivität. Die Entlüfter reichern sich bevorzugt an der Grenzfläche Flüssigkeit/Luft an und bilden idealer Weise einen Additivfilm um die Mikroschaumblase. So verhindern sie eine Stabilisierung der Blase durch Tenside. Darüber hinaus fördern die partiell unlöslichen Entlüfterwirkstoffe den Diffusionsprozess der Luft aus der Mikroschaumblase in das sie umgebende Medium.

Eine gezielte Unverträglichkeit des Entlüfters bedeutet, dass eine optimale Balance zwischen Wirksamkeit des Entlüfters und seiner Verträglichkeit mit der zu entlüftenden Beschichtungsformulierung vorhanden ist. Wäre der Entlüfter zum Einen zu verträglich, wirkt er nicht entlüftend, wäre er zum Anderen zu unverträglich, kommt es zu Störungen, wie Kratern, Fischaugen oder Trübungseffekten (Abb. 6).



Abbildung 6: lösemittelhaltiger Klarlack mit verschiedenen Entlüfterzusätzen: von links nach rechts: komplett verträglich/gezielt unverträglich/unverträglich/komplett unverträglich

### Welche Substanzen wirken entlüftend?

Es gibt eine breite Palette an chemischen Wirkstoffen, die potentiell eine entlüftende Wirkung in Lacken und Farben aufweisen.

Hier einige Beispiele:

- organische Polymere, wie Polyether oder Polyacrylate
- Dimethylpolysiloxane (Siliconöle)
- organisch modifizierte Polysiloxane, z. B. aryl-alkylmodifizierte Polysiloxane
- Fluorsilicone

Diese Substanzen werden häufig für die Formulierung von Entlüftern verwendet. Dabei werden diese Entlüfter in folgenden Varianten angeboten:

- als Konzentrat mit 100 % Wirkstoffgehalt
- als Anlösungen in organischen Lösemitteln
- als Emulsionen in Wasser, speziell für Anwendungen in wässrigen Formulierungen

Durch den Zusatz von hydrophoben Feststoffen zu den oben genannten Wirkstoffen wird die Wirkung der Entlüfterformulierungen noch einmal verstärkt. Als hydrophobe Feststoffe werden z. B. Kieselsäuren, Harnstoffe oder Metallseifen verwendet.

### Gibt es den universellen Entlüfter?

Ein Entlüfter ist wirksam gegen Mikroschaum und gleichzeitig ausreichend verträglich mit der Lack-, Farben- oder Druckfarbenformulierung. Das bedeutet, der Entlüfter verhindert/beseitigt Mikroschaum, aber gleichzeitig kommt es nicht zu z. B. Verlaufsstörungen, Fischaugen, Kratern oder Trübungseffekten. Diese Balance ist abhängig von der Lackformulierung. Vor allem Veränderungen beim Bindemittel oder Lösemittel haben starken Einfluss auf die Wirksamkeit und Verträglichkeit eines Entlüfters. Somit gibt es nicht den universellen Entlüfter für alle Lacksysteme. Vielmehr muss neben der Wirksamkeit auch die Verträglichkeit des Entlüfters mit dem Beschichtungssystem geprüft werden. Dabei spielt nicht nur die Auswahl des Entlüfters, sondern auch seine Einsatzmenge in der Formulierung und die Art der Applikation des Beschichtungssystems eine wichtige Rolle.

Hilfreich sind hier sicher sogenannte Vorversuche oder Vortests, um eine Auswahl an möglichen Entlüftern zu treffen. Dabei ist unabdingbar, die Auswahl an Entlüftern durch Praxisversuche in der Endanwendung zu untermauern und zu überprüfen.

### Kombinationen von Lackadditiven sind hilfreich

Wirkt ein Entlüfter exzellent entlüftend, verursacht dabei aber noch Oberflächenstörungen wie Krater, empfiehlt sich eine Kombination mit Substratnetzadditiven oder Oberflächenadditiven (siehe „Technischer Hintergrund Gleit- und Verlaufsadditive“ und „Substratnetzadditive“).

### Lagertests sind notwendig

Von vielen Beschichtungssystemen wird eine hohe Lagerstabilität erwartet. Der ideale Entlüfter sollte daher auch nach einer längeren Lagerzeit des Beschichtungssystems noch wirksam und verträglich sein. Lagerversuche unter den geforderten Bedingungen (z. B. vier Wochen bei Raumtemperatur, 40 °C und 4 °C) sind unabdingbar. In vielen Fällen ist eine Kombination aus mehreren Entlüftern oder einem Entlüfter und einem Entschäumer die beste Wahl.

# Welche Prüfmethode zur Vorauswahl von Entlüftern haben sich bewährt?

## Prüfmethode für niedrig- bis mittelviskose Lackformulierungen

50 g des zu prüfenden Lackes werden 1 Min. bei hoher Drehzahl (3.000 U/min.) mit einer Dissolverseibe gerührt. Dadurch wird viel Luft in die Formulierung eingetragen und fein verteilt. Direkt nach dem Rühren wird der Lack auf einer transparenten Polyesterfolie abgegossen, welche an einer um 25° geneigten Ablaufwand fixiert ist. Während der Trocknung kann der Lackfilm entlüften. Nach dem Trocknen/Härten wird der Lackfilm visuell auf Schaumblasen, Pinholes (Wirksamkeit) und auf eventuelle Defekte, wie Krater, Fischaugen, Trübungseffekte oder Verlaufsstörungen (Verträglichkeit) beurteilt (Abb. 7).

## Prüfmethode für mittel- bis hochviskose Lackformulierungen

Insbesondere für Formulierungen, die in hohen Schichten airless/airmix-appliziert werden, ist es schwierig, durch einfache Vortests den idealen Entlüfter zu finden.

Vielmehr ist es sinnvoller, direkt eine Spritzapplikation durchzuführen. Nach dem Trocknen/Aushärten wird die Mikroblasenbildung mit einer Lupe oder einem Mikroskop beobachtet. Das Erstellen von Fotos zur Dokumentation kann hilfreich sein.

In pigmentierten Lackformulierungen ist eine Bewertung aufgrund der mangelnden Transparenz der Beschichtung oft schwierig. Hier können Glanzunterschiede als Kriterium herangezogen werden: Je mehr Mikroblasen, desto geringer der Glanz.

## Prüfung von hochviskosen Beschichtungsmassen

Für Beschichtungsmassen (z. B. 2K-Fußbodenbeschichtungen) ist der Ablauf an geneigten Flächen eine ungeeignete Prüfmethode. Für solche Formulierungen hat sich das Ausgießen von definierten Schichtdicken (z. B. 3 mm) bewährt. Dazu wird das Beschichtungsmaterial für 2 Minuten bei 2.000 U/min geschert und so Luft ins System eingetragen. Direkt im Anschluss

wird das Material auf PE Folie gegossen. Nach 10 Minuten wird ein Drittel der Fläche durchgerakelt und nach der Trocknung/Durchhärtung visuell auf Schaumblasen oder Oberflächenstörungen hin beurteilt (Abb. 8).

Insbesondere für einen dickschichtigen Auftrag kann aber auch das frisch aufgeschäumte Lackmaterial einfach in Deckel (z. B. von Metalllackdosen oder Polybechern) eingefüllt und nach der Aushärtung zur Bewertung entnommen werden (siehe auch Video „Entlüftung von Fußbodenbeschichtungen“ im Internet).

## Prüfung auf feinsten Mikroschaum

Mikroschaum kann in derart feiner Form auftreten, dass er mit dem bloßen Auge nicht mehr sichtbar ist. Optische Geräte, wie Mikroskop oder Lupe, können hier helfen. Es gibt aber noch weitere Methoden, um die feinsten Poren, die durch Mikroschaumblasen in der Beschichtung entstehen können, sichtbar zu machen bzw. sie zu messen.

## Kupfersulfat-Test

Auf ein sandgestrahltes Eisenblech wird der zu prüfende Beschichtungsstoff in realistischer Schichtdicke aufgetragen. Nach vollständiger Trocknung bzw. Härtung werden in ein so genanntes Ochsenauge ca. 4 ml einer 10%igen Kupfersulfatlösung gefüllt. Nun legt man das Blech mit der Lackoberfläche

Abbildung 7: Entlüfterprüfung durch Ablauf, links mit Entlüfter, rechts additivfreie Probe



auf das gefüllte Ochsenauge und stellt diese Anordnung auf den Kopf, so dass die Kupfersulfatlösung einwirken kann. Nach 24 Stunden wird die Lackoberfläche mit Wasser abgespült. Sind feine Poren in der Beschichtung, zeigen sich rote Punkte. Dabei handelt es sich um elementares Kupfer, das aus der Kupfersulfatlösung abgeschieden wurde, während Eisen aus dem Blech in die Lösung gegangen ist.

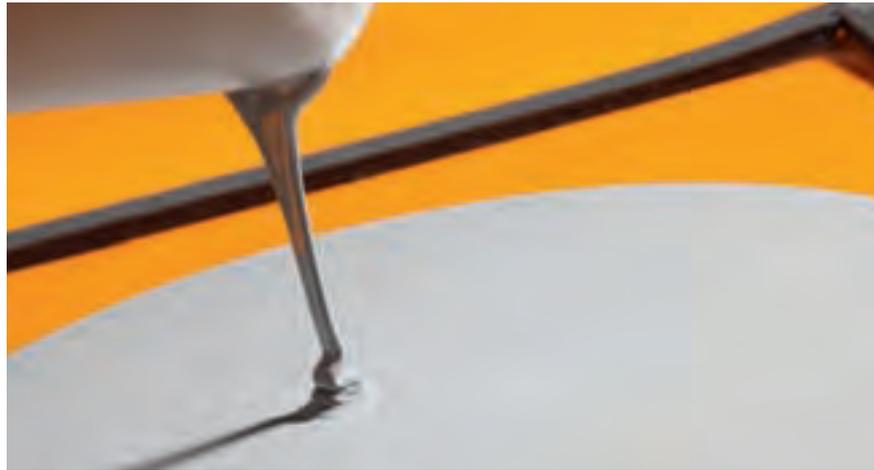


Abbildung 8: Prüfung einer Fußbodenbeschichtung

## Porensuchgerät

Das Prüfverfahren beruht darauf, dass alle elektrisch isolierenden Beschichtungswerkstoffe eine sehr viel höhere elektrische Durchschlagsfestigkeit besitzen als Luft. Der Nachweis von Poren erfolgt durch einen Funkenüberschlag (Kurzschluss) an den Fehlstellen zwischen Prüfelektrode und leitendem Untergrund. Die Porenanzeige erfolgt optisch und akustisch. Allerdings kann das Gerät nur für Beschichtungen auf leitenden Untergründen zum Einsatz kommen.

## Beurteilung von Lufteinschlüssen bei Beschichtungen auf Holz (z. B. Holzfensterrahmen)

Bei dieser Methode können Lufteinschlüsse in Lackfilmen (nach Trocknung/Härtung) beurteilt werden, die auf Holzuntergründen appliziert wurden. Dazu werden von dem System „Lackfilm/Holzuntergrund“ definierte Querschnitte erzeugt und diese unter einem Mikroskop betrachtet. Lufteinschlüsse, also Mikroschaumbblasen können dann im Hinblick auf Anzahl und Größe beurteilt werden. Diese Methode eignet sich besonders gut für pigmentierte Formulierungen.

## FAQs:

**An welcher Position der Lackrezeptur sollte der Entlüfter zugegeben werden?**  
Entlüfter können dem Mahlgut oder auch dem Auflackgut zugegeben werden. In erster Linie ist dies abhängig von der gezielten Unverträglichkeit des Entlüfters mit dem Beschichtungssystem. Generell gilt: Unverträglichere Entlüfter müssen mit höheren Scherkräften in die Lackformulierung eingearbeitet werden als verträglichere Entlüfter.

Somit gibt es Entlüfter, die hervorragend als Mahlgutentlüfter wirken. Andere Entlüfter können im Auflackgut oder in Klarlacken verwendet werden. Den idealen Zugabezeitpunkt entnehmen Sie bitte den Technischen Datenblättern der Produkte.

### Wie wichtig ist die Art der Applikation für die Auswahl des Entlüfters?

Die Art der Applikation spielt eine sehr wichtige Rolle. Es gibt Entlüfter, die wegen ihrer starken Unverträglichkeit z. B. Vorhangreißen an der Gießmaschine verursachen. Hier sollten nur relativ verträgliche Entlüfter gewählt werden.

Bei Airless-/Airmixapplikationen ist die Mikroblasenbildung sehr stark. Besonders wirksame und damit eher unverträgliche Entlüfter sind notwendig. Dabei kommt es dann besonders auf eine gute Balance zwischen Wirksamkeit und gleichzeitig ausreichender Verträglichkeit an.

### Welche grundsätzlichen Möglichkeiten gibt es Mikroschaum zu verhindern?

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um Mikroschaum in Lacken und Farben oder Druckfarben entgegenzuwirken. Die Wahl schaumarmer Rohstoffe oder das Einstellen einer optimalen Lackviskosität kann Mikroschaumprobleme in einer Lackformulierung deutlich reduzieren. Auch die Lackherstellung und Applikation sollten so gestaltet sein, dass nur ein Minimum an Luft in das Beschichtungsmaterial eingetragen wird. Allerdings sind Parameter wie Rohstoffe, Herstellungsverfahren und Applikation meist vorgegeben und der Handlungsspielraum wird somit deutlich eingeschränkt. Die Zugabe von Lackadditiven, wie Entlüftern, ist der einfachste Weg, um Mikroschaum wirksam zu verhindern und zu beseitigen.