

# **Blasenbildung in mineralischen und organischen Beschichtungen auf porösen Baustoffen während der Filmbildung - Ursachen und Vermeidung**

Dipl.-Ing. Helena Eisenkrein, IBOS GmbH, Institut für Betontechnologie und Oberflächenschutzsysteme, Bochum, Deutschland, [www.ibos-labor.eu](http://www.ibos-labor.eu), [hei@ibos-labor.eu](mailto:hei@ibos-labor.eu)

## **Zusammenfassung**

Dieser Aufsatz befasst sich mit dem allgemein bekannten Problem der Blasenbildung in Oberflächenschutzsystemen sofort nach Applikation der Beschichtung. Es gehen viele Erklärungen und Theorien um, warum die kleinen Blasen oder stecknadelgroße Löcher in der Oberfläche entstehen. Wie z. B. die Empfehlungen bei steigenden Temperaturen das Bauwerk nicht zu beschichten, was häufig in den Technischen Merkblättern aufgeführt wird. Im Folgenden Text werden die Ursache der Entstehung feuchtphysikalisch und die Vermeidung der Pinhole- und Pinblisterbildung (wie die Imperfektionen genannt werden) erläutert.

## **1. Einleitung**

Bei Anwendung von Oberflächenschutzsystemen auf porösen Baustoffen treten gelegentlich unmittelbar nach der Applikation von Feinmörteln oder Beschichtungsstoffen stecknadelgroße Löcher oder fingernagelgroße Bläschen auf. Diese Fehlstellen im Oberflächenschutzsystem können bei einigen Bauwerkseinwirkungen im schlimmsten Fall zum Versagen des Systems führen, wie das folgende Beispiel erläutern wird.

Die Erklärungen dieses Phänomens sind unterschiedlich und beziehen sich häufig entweder auf die eingeschlossene Luft, die „heraus will“ oder auf die „rapide Erhöhung“ der Bauteiltemperatur und somit einer Ausdehnung der Luft in den Poren des Betons, die gegen die noch flüssige Beschichtung drückt. Die tatsächliche Ursache für die Entstehung der so genannten Pinholes und Pinblisters lässt sich jedoch physikalisch erklären. Mit der Kenntnis der bei diesem Vorgang ablaufenden Mechanismen, lässt sich auch eine Strategie für die Vermeidung von der Entstehung dieser Fehlstellen entwickeln.

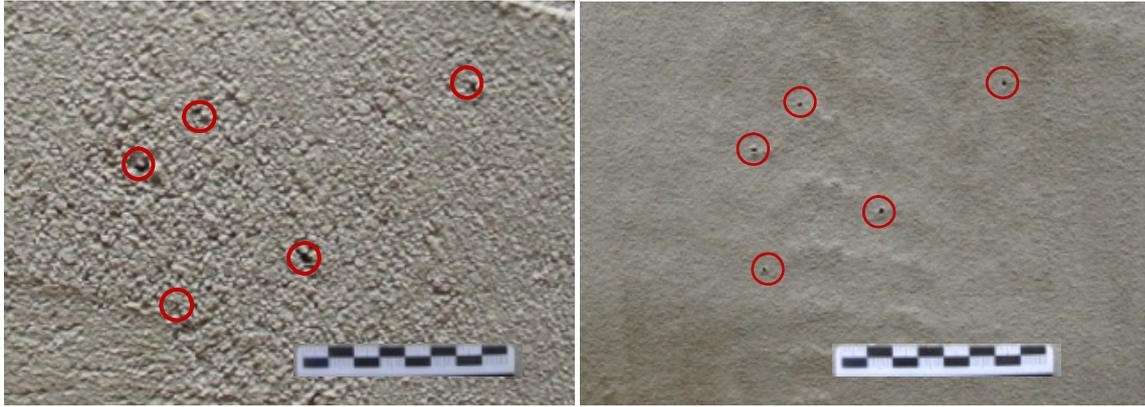
Im Folgenden wird anhand von einigen objektbezogenen Beispielen die Problematik der Entstehung von Pinholes und Pinblisters erläutert. Anschließend wird anhand von physikalischen Gesetzmäßigkeiten der theoretische Hintergrund der Blasenentstehung dargestellt.

## **2. Objektbeispiele**

### **2.1 Pinholes im Feinmörtel**

Während der Instandsetzung einer Schaleninnenseite eines Kühlturms mit Abgaseinleitung wurde, aufgrund der vielen und tiefen Betonausbrüche, großflächig Spritzmörtel (SPCC) eingesetzt. Zum Schutz des Schalenbetons sollte ein Oberflächenschutzsystem appliziert werden.

Bereits während des Spritzvorganges wurde festgestellt, dass der SPCC eine raue und porenreiche Oberfläche aufwies. Die anschließend mit einem Feinmörtel egalisierte Oberfläche zeigte, dass darauf größtenteils Pinholes deckungsgleich mit denen im SPCC vorhandenen Poren entstanden sind.



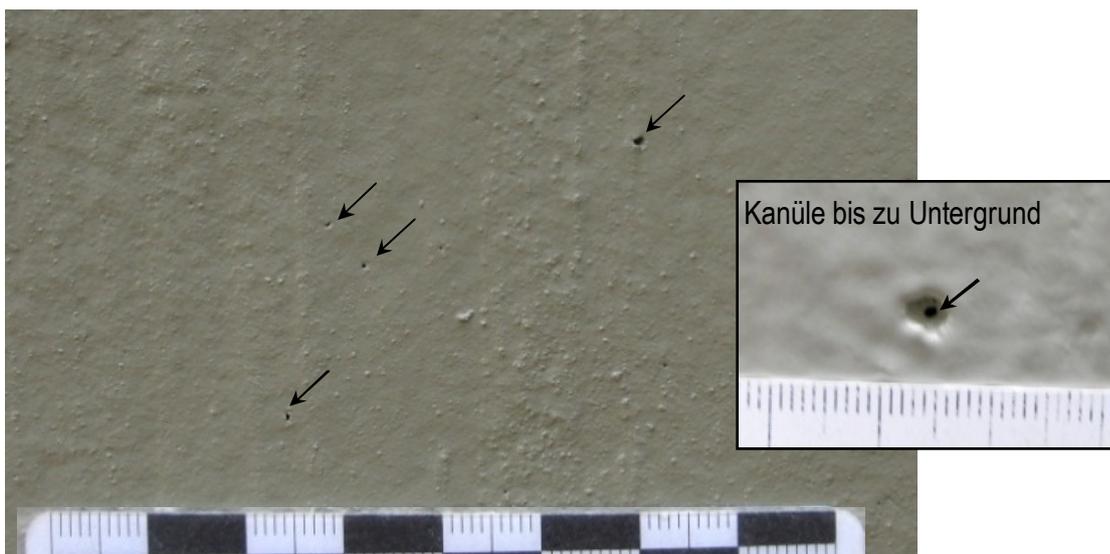
*Bild 1: Abbildung der im SPCC vorhandenen Poren im darüber applizierten Feinmörtel*

Im Bild 1 ist die aus dem SPCC Untergrund übertragene Porenstruktur im PCC-Feinmörtel dargestellt. Hauptursächlich für die Entstehung der Pinholes war der zu hohe W/Z Wert des Feinmörtels, der auf die Oberfläche aufgeschlämmt wurde und nur einen geringen Verformungswiderstand aufwies. Die physikalische Ursache wird im Kapitel 3 erläutert.

## **2.2 Pinholes in der Beschichtung**

Auf der im Beispiel 2.1 genannten Fläche wurde in vier Arbeitsgängen eine Schutzbeschichtung appliziert. In je zwei Beschichtungslagen kamen zuerst eine Epoxidharz- und danach eine Polyurethanbeschichtung zum Einsatz.

Die im Feinmörteluntergrund vorhandenen Poren konnten auch in der letzten Deckbeschichtung festgestellt werden. D. h. dass die Poren sich durch vier Beschichtungslagen bis zur Oberfläche abgezeichnet haben. In jedem Pinhole konnte ein Zugang, in Form einer Kanüle, zum mineralischen Untergrund festgestellt werden.



*Bild 2: Pinholes in der Beschichtung*

Im Bild 2 ist die Beschichtungsfläche mit Pinholes dargestellt. Diese, wie man meinen könnte, unscheinbaren stecknadelkleinen Poren können aber eine erhebliche Auswirkung auf das Schutzsystem haben. Durch die kanülenartige Porenstruktur kann das im Kühlturm mit Abgaseinleitung vorhandene betonschädigende angesäuerte Schwadenkondensat bis zum mineralischen Untergrund vordringen und zu einer massiven Betonkorrosion führen. Die Beschichtung wird dabei großflächig unterwandert. Es entstehen großflächige Schadensstrukturen im Bauwerk, siehe Bild 3.

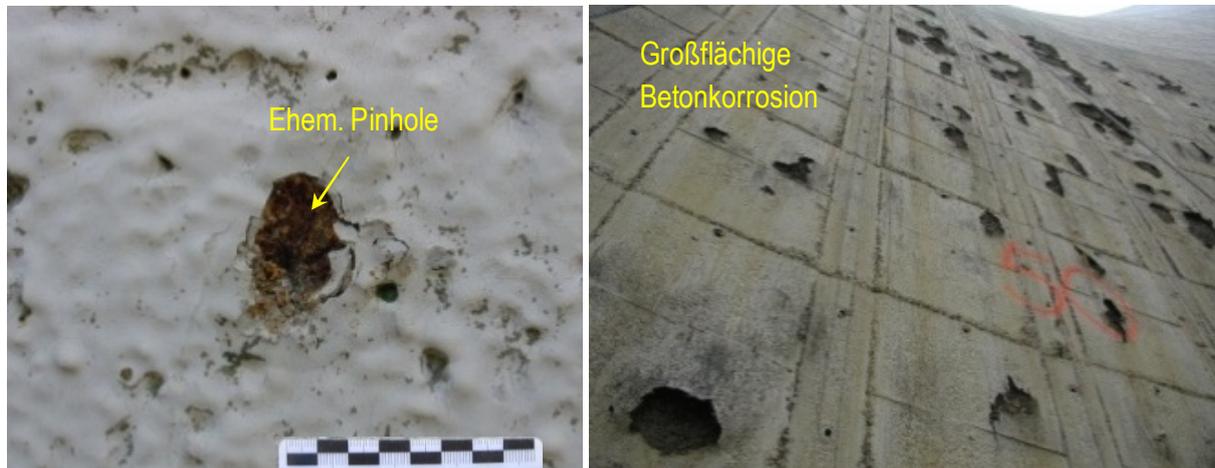


Bild 3: Saures Schwadenkondensat führt über Pinholes zur Betonkorrosion und OS-Versagen

### 2.3 Pinblisters in der Beschichtung

An der Schalenaußenseite eines Naturzugkühlturms wurde ein OS 2 als Oberflächenschutzsystem zur farbigen Gestaltung der Schale appliziert. Die hydrophobierte Oberfläche sollte in zwei Lagen mit einer Acrylatbeschichtung versehen werden [1]. Kurz nach der ersten Beschichtungslage kam ein Regenschauer, der die Oberfläche benetzte. Die beschichtete Oberfläche trocknete anschließend schnell ab, so dass die Ausführungsfirma beschloss die Beschichtungsarbeiten fortzusetzen. Es wurde dabei nicht bedacht, dass die Fläche zwar bereits trocken war, aber in den offenen Poren des Betons sich noch Wasser befand. Bereits während der Beschichtungsapplikation kamen auf der gesamten Fläche Pinblisters zutage, deren Entstehungsursache von den Beteiligten nicht erklärt werden konnte, da an einem bewölkten Tag mit einer konstanten Lufttemperatur gearbeitet wurde.



Bild 4: Mit Pinblisters übersäte Betonoberfläche

Das Bild 4 zeigt exemplarisch die Pinblisters. Beim Öffnen des Blasendeckels konnte stets eine Betonpore vorgefunden werden, wie im Bild 5 dargestellt.

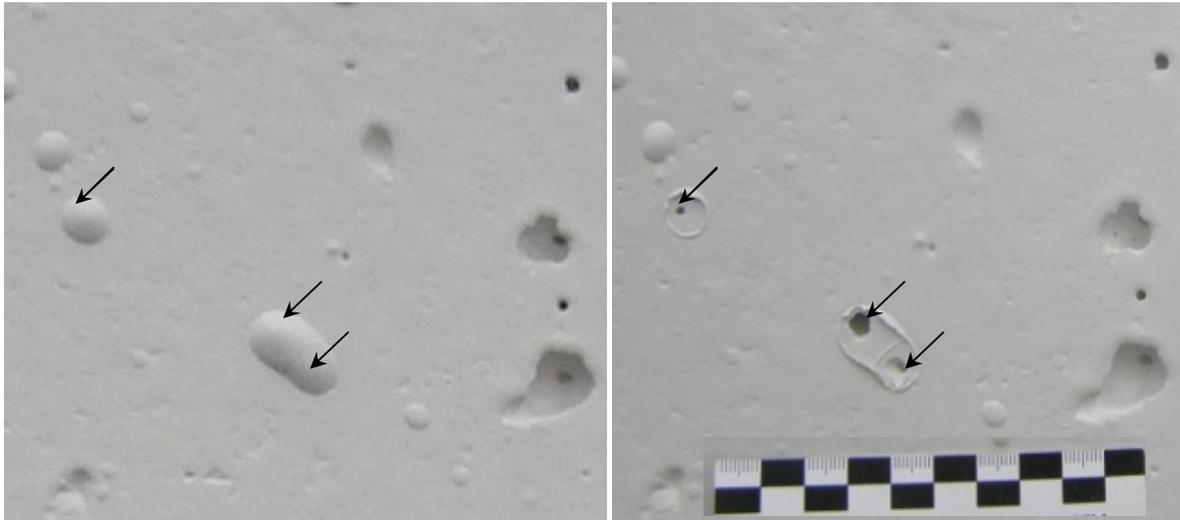


Bild 5: Beim Öffnen des Blasendeckels stets eine Pore

### 3. Theoretischer Hintergrund

Erst die poröse Struktur der mineralischen Baustoffe ermöglicht die Entstehung von Pinholes und Pinblisters. Aufgrund der Porenstruktur der Randzone und des Hinterlandes kann sich darin ein Satttdampfdruck beim Verschluss der Poren ausbilden.

Das dynamische Gleichgewicht zwischen Flüssigwasser und Luft bewirkt, dass die Wassermoleküle in die Luft diffundieren können. Die Konzentration an Wassermolekülen in der Luft ist von der Temperatur der Luft (und dem Luftdruck, hier vernachlässigbar) abhängig und beträgt z. B. bei 20°C warmer Luft maximal 17,3 g pro m<sup>3</sup>. [2] Die Konzentration der Wassermoleküle wird als relative Luftfeuchte  $\varphi$  ausgedrückt.

Den Zustand der maximalen Wasserdampfaufnahme nennt man Sättigungsfeuchte. Bei einer Übersättigung der Luft mit Wasserdampf fällt das Wasser in Form von Nebel oder Niederschlag aus, es kondensiert.

Betrachtet man die Erdanziehung und den daraus resultierenden Luftdruck, übt das in Dampfform vorhandene Wasser einen gewissen Teil des Druckes auf die Erdoberfläche aus. Dieser Wasserdampfpartialdruck wird als Satttdampfdruck bezeichnet und besitzt die Einheit N/mm<sup>2</sup> oder bar.

Mit der Gleichung (1)

$$\varphi = \frac{c}{c_s} = \frac{p}{p_s} \quad (1)$$

kann ein Zusammenhang zwischen der Konzentration der Wassermoleküle in der Luft in g/m<sup>3</sup> und dem Partialdruck hergestellt werden. Wobei  $c$  die aktuelle Konzentration des Wasserdampfes und  $c_s$  die Satttdampfpeuchte sowie  $p$  der aktueller Dampfdruck und  $p_s$  der Satttdampfdruck ist.

Das Diagramm im Bild 6 zeigt die Satttdampfdruckkurve bzw. Sättigungskurve für Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur.

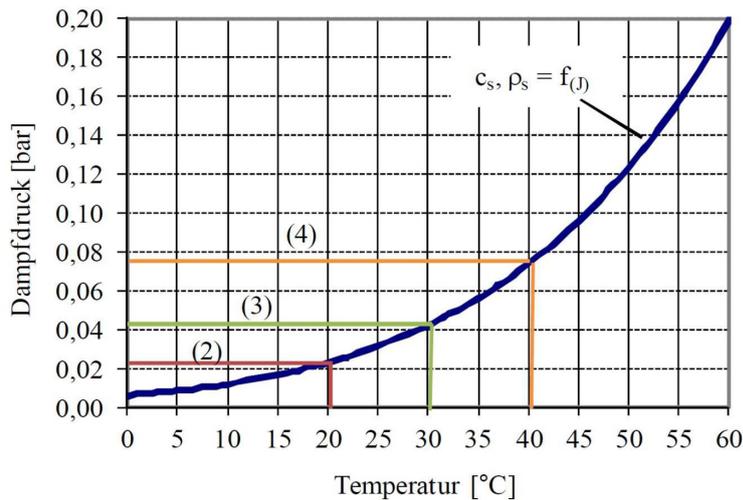


Bild 6: Sattdampfdruckkurve / Sättigungskurve für Wasser als Funktion der Temperatur

Aus dem Zusammenhang:

1 bar = 100.000 Pa = 0,1 N/mm<sup>2</sup> = 10 m Wassersäule

und der Kenntnis der Sattdampfeuchte kann der Sattdampfdruck in Abhängigkeit von der Temperatur abgelesen werden:

(2) 20°C:  $c_s = 17,3 \text{ g/m}^3$ ,  $\rho_s = 0,0234 \text{ bar} = 23,4 \text{ mbar}$

(3) 30°C:  $c_s = 30,3 \text{ g/m}^3$ ,  $\rho_s = 0,0424 \text{ bar} = 42,4 \text{ mbar}$

(4) 40°C:  $c_s = 51,1 \text{ g/m}^3$ ,  $\rho_s = 0,0738 \text{ bar} = 73,8 \text{ mbar}$

#### 4. Experimenteller Nachweis

In einem Experiment wurde die Druckänderung in der Pore beim Verschluss mit einem in der Erhärtungsphase verformbaren „Deckel“, Mörtel oder Beschichtung, nachgestellt. Dazu wurden in einem Exsikkator mit Seitentubus unterschiedliche Flüssigkeiten: Wasser, Lösungsmittel oder Beschichtungen, mit jeweiligem flüchtigen Anteil (FA), eingefüllt. Nachdem sich ein Gleichgewicht zwischen der Luft des offenen Exsikkators und der Außenluft eingestellt hat, wurde der Exsikkatordeckel langsam geschlossen. Dabei konnte ein Druckanstieg im Exsikkator mittels eines am Seitentubus angeschlossenen Manometers festgestellt werden. Das Bild 7 zeigt die Versuchseinrichtung und den Versuchsablauf.

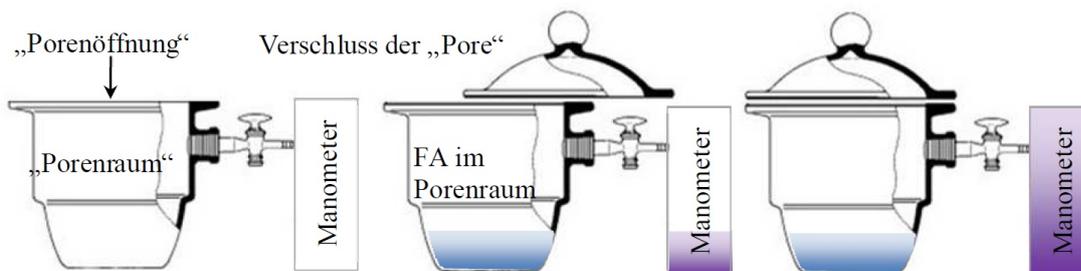
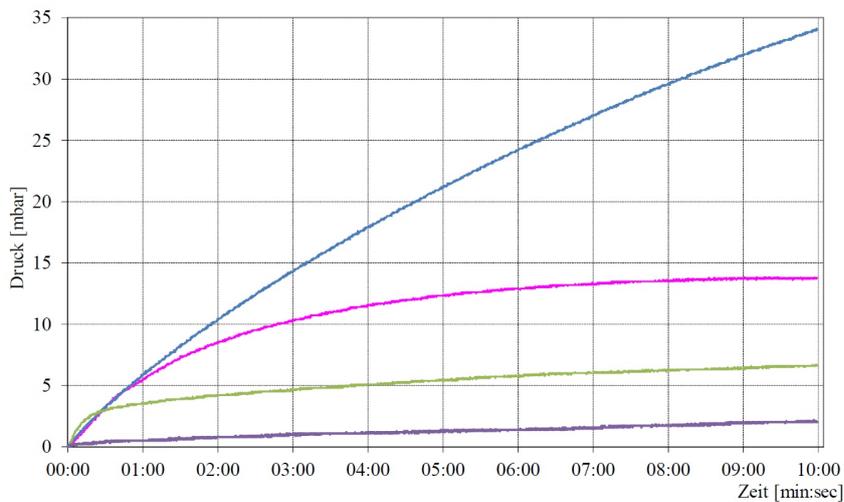


Bild 7: Versuchsvorrichtung zum Sattdampfdruckaufbau

Bei diesem Versuch konnten die Geschwindigkeit des Druckanstieges und der Satttdampfdruck gemessen werden. Das Diagramm des Bildes 8 zeigt die Ergebnisse der Messung im Verlauf von 10 Minuten.



— Äthylacetat — Wasser — Xylol — Epoxidharz (B)

Bild 8: Geschwindigkeit und Höhe des Sattdampfdruckanstieges

Die relative Luftfeuchte der Außenluft lag während der Versuchsdurchführung bei 37% und betrug im Exsikkator anschließend 100%. Bei den Lösemitteln stieg die Konzentration von 0% auf 100%.

## 5. Ursachen für die Pinhole- / Pinblister - Bildung

Basierend auf der physikalischen Gesetzmäßigkeit des Gesamtgleichgewichtes und den Erkenntnissen aus dem oben beschriebenen Versuch und den Beobachtungen am Bauwerk, kann folgender Grund für die Entstehung der Pinholes und Pinblisters genannt werden.

Die in einem mineralischen Baustoff wie Beton oder Mörtel vorhandenen Poren haben durch die Kanülen, Kavernen und Lunker ein definiertes größtenteils abgeschlossenes Porenvolumen. Die Ursache liegt in dieser Porenstruktur.

Bei ungeeigneten Untergründen wird die Oberfläche mit einem Feinmörtel egalisiert, um den Untergrund beschichtungsgerecht zu gestalten. Auch bei diesen Egalisierungsmörteln treten jedoch, wie oben beschrieben, Pinholes auf.

Bei OS-Systemen verschließt der Beschichtungsstoff die Porengänge und unterbricht so den Austausch der Luft des Innenraumes zur angrenzenden Luft. In dem Porenraum entsteht derweilen ein Sattdampfdruck aufgrund der flüchtigen Anteile, die in den Porenraum entweichen. Oder es ist bereits Wasser in flüssiger Form im Porenraum vorhanden, das jetzt in das geschlossene System verdampft. Somit erhöht sich auch die relative Luftfeuchte im Porenraum im Vergleich zu der Außenluft. Daraus resultiert ein Druck, der auf die angrenzenden Wände und auch auf die Porenöffnung ausgeübt wird.

Abhängig von dem Verformungswiderstand des Beschichtungstoffes, d. h. von der rheologischen Beschaffenheit, kann in der Pore entstandener Überdruck die Bildung eines Bläschens (Pinblister) an der Oberfläche des Mörtels oder des Beschichtungstoffes verursachen. Bei geringen Kohäsionskräften der eingesetzten Materialien bricht das Bläschen auf und es entsteht ein Pinhole. [3]

Die Intensität der Pinhole- / Pinblister -Bildung ist tatsächlich stark von der Temperatur abhängig, da bei höheren Temperaturen, wie aus dem Bild 6 abzulesen ist, auch höhere Sattdampfdrücke resultieren. Diese bilden sich in der Pore schneller und intensiver aus, so dass die Pinhole- / Pinblister –Bildung rascher vorangeht.

Die Sattdampfdruckkurve aus Bild 6 sagt jedoch nur etwas über den Zusammenhang zwischen Temperatur und Sattdampfdruck. Das Diagramm kann also nicht dazu verwendet werden, den Druckanstieg, der in einem Hohlraum isochor durch die Erwärmung des Bauteils entsteht, abzulesen. Nur mit der Kenntnis der Ausgangsbedingungen wie relative Luftfeuchte, Bauteiltemperatur und Außenlufttemperatur sowie die flüchtigen Anteile des Beschichtungstoffes, kann der Druckanstieg in der Pore berechnet werden.

Es ist also nicht falsch, dass bei hohen Temperaturen häufiger Blasen entstehen, es ist aber nicht richtig, dass die Blasenbildung im Zusammenhang mit einem Temperaturanstieg des Bauteils steht. Erstens tritt in dem massiven Betonbauteil innerhalb von Minuten, die für die Entstehung der Pinholes nur notwendig sind, kein signifikanter Temperaturanstieg auf (wie in vielen Technischen Merkblättern genannt: *nicht bei steigenden Temperaturen beschichten*), um in der Pore einen ausreichenden Überdruck eingeschlossener Gase auszulösen, die eine Blasenbildung erzwingen würden. Zweitens wollen die niedermolekularen unvernetzten Bestandteile, solange sie kein Sattdampfdruck aufbaut, nicht aus dem Bauwerk „ausgasen“, wie es auch behauptet wird. Und auch das Entlüften bewirkt zwar, dass in der Beschichtung keine eingerührten Luftbläschen vorhanden sind, aber nicht den Verschluss der Poren im Beton [4]. Es bewirkt höchstens ein Wiederverschluss der Betonpore mit einem teilweise in Erhärtung begriffenen Material, siehe hierzu Punkt 6.

## **6. Vermeidung der Pinhole- / Pinblister – Bildung**

Die Vermeidung der Entstehung der Pinholes / Pinblister ist mit sorgfältiger Applikation der Mörtel und einem beschichtungsgerechten Untergrund einfach. Mit unterschiedlichen Herangehensweisen kann das Auftreten dieser Fehlstellen unterbunden werden.

Der Verschluss des Porensystems im Zuge der Untergrundvorbehandlung mit geeigneten Egalisierungs- bzw. Kratzspachtelungen muss gewährleistet sein. Wenn die Porensysteme verschlossen sind und keinen Zugang zum zu applizierenden Beschichtungstoff aufweisen, kann auch kein Sattdampfdruck auf den „Deckel“ aus dem Porenloch wirken.

Die anzuwendenden Materialien, vor allem die Mörteln, müssen einen hohen Verformungswiderstand aufweisen, um den Druck aus der Pore standzuhalten. Da es nicht vermieden werden kann, dass aus den Baustoffen flüchtige Anteile in den Porenraum verdampfen, muss die Verformbarkeit des Mörtels niedrig sein.

Diese Forderung kann mit einem geeigneten Wasser/Zement Wert eingehalten werden. Dabei darf die Oberfläche der Egalisierungsspachtelung nicht nachträglich mit Wasser geglättet werden. Diese Methode bewirkt zwar eine scheinbar glattere Oberfläche, verbirgt jedoch eine Gefügestörung in der Randzone, in der sich die Pinholes anschließend bilden können.

Wenn diese Vorgaben der Applikation eines Schutzsystems eingehalten werden, kann bis auf wenige Fälle (siehe Kapitel 2.3) die Bildung von Pinholes / Pinblisters vermieden werden.

## 7. Literatur

- [1] Engelfried, R., Sage, F., Eisenkrein, H.: Naturzugkühlturm mit Abgaseinleitung - Planung und Umsetzung von Schutzmaßnahme und Aussehensoptimierung; Tagungsband 2. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, Technische Akademie Esslingen, Januar 2011
- [2] Klopfer, H; Homann, M.: Lehrbuch der Bauphysik, Kapitel III Feuchte, Hrsg. Willems, W., Vieweg+Teubner Verlag, 2012, 7. Ausgabe
- [3] Engelfried, R.; Eisenkrein, H.: Schäden an polymeren Beschichtungen, Schadenfreies Bauen, Hrsg. Ralf Ruhnau, Band 26, Fraunhofer IRB Verlag, 2. Auflage.
- [4] Rolof, H.-J.: Bodenbeschichtung mit Blasen: Immer nur Feuchte als Ursache?, Der Bausachverständige, Ausgabe 6 2008, Seiten 31-33