

# So werden Diffusions-eigenschaften bestimmt

Text Severin Werner\*

Bilder zVg

**Viele Schäden im Beschichtungsbereich könnten heutzutage vermieden werden, wenn den Unternehmern der Zusammenhang zwischen Ursache – unterschiedliche Diffusionseigenschaften verschiedener Beschichtungsmaterialien – und deren Auswirkung auf das gesamte System (beispielsweise Blasenbildung) bekannter wäre.**



So wird beim Wasserdampf der Probekörper auf einem Gefäss, das annähernd 100% relative Feuchte im Innern hat, in einem Klimaschrank gelagert.

Das Wort «Diffusion» stammt vom lateinischen «diffundere» ab, was so viel wie «verstreuen, ausbreiten» bedeutet. Im Gegensatz zu einer Strömung, in welcher sich die Teilchen in einer bestimmten Richtung bewegen, beschreibt die Diffusion eine ungerichtete Bewegung von Teilchen.

Dieser physikalische Prozess läuft grundsätzlich so lange, bis sich in einem Raum eine möglichst gleichmässige Durchmischung beziehungsweise Verteilung der vorhandenen Teilchen ergeben hat. Bei Beschichtungen durchwandern Moleküle also Anstrichschichten mit dem Ziel der bestmöglichen Verteilung auf beiden Seiten der Schicht. Wie schnell ein solcher Prozess abläuft, hängt von verschiedenen Einflussfaktoren ab.

## **Einflussfaktoren: spezifischer Widerstand**

Das Wort Diffusion beschreibt also eine Wanderung eines Moleküls durch ein Medium von einer Stelle A zu einer Stelle B. Dabei wird dem Molekül abhängig vom Medium ein gewisser Widerstand entgegengesetzt.

Man kann sich das grob gesagt so vorstellen, als wäre der Mensch ein Molekül und müsste von einem Punkt A zu einem Punkt B gelangen. Wie einfach sich diese «Wanderung» gestaltet, hängt

davon ab, auf welche Widerstände der Mensch stösst. So ist eine Wanderung über eine gemähte Wiese einiges einfacher als durch ein erntebereites, hochgewachsenes Maisfeld und diese wiederum einfacher, als wenn man durch hüfttiefes Wasser eines Sumpfgebietes waten müsste.

Jedes «Medium» setzt dem Vorwärtskommen einen eigenen, spezifischen Widerstand entgegen. Genau so ist es auch mit verschiedenen Anstrichmaterialien. Ein Dispersionsanstrich setzt einem Molekül einen anderen Widerstand entgegen als ein gleich dicker Silikat-anstrich.

## **Grösse und Gewicht**

Die Diffusionsgeschwindigkeit hängt zusätzlich auch von der Grösse des Moleküls ab. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass grosse und schwere Moleküle für die gleiche Strecke längere Zeit benötigen als kleine und leichte. Dies wiederum kann sich

### **Gleichung 1: $S_D = M_D \times d$**

$S_D$ : Äquivalente Luftschichtdicke (m)

$M_D$ : Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl, dimensionsloser Kennwert für das zu prüfende Beschichtungssystem

$d$ : Dicke/Schichtdicke der Beschichtung beziehungsweise des zu überwindenden Mediums

\*Dipl. Chemiker FH, DIN-geprüfter Beschichtungsinspektor, Mitarbeiter des Baustoffprüfinstituts LPM AG in Beinwil am See, severinwerner@lpm.ch

Abgeplatzte Beschichtung und abgeplatzter Beton wegen Bewehrungskorrosion.



jeder vorstellen: Jemand mit grossem und schwerem Rucksack wird auf einer Wanderung langsamer vorankommen, als wenn er die gleiche Strecke mit einer kleinen und leichten Tasche zurücklegen würde.

#### Zu überbrückende Distanz

Je länger die Strecke ist, die ein Molekül auf seinem Weg von A nach B überwinden muss, desto länger dauert der Vorgang. Das ginge Wandersleuten auch nicht anders. Eine Wegstrecke über 100 Meter absolvieren sie schneller als 10 Kilometer bei gleichartigem Gelände.

#### Konzentrationsunterschied

Je grösser der Konzentrationsunterschied der Moleküle zwischen Punkt A und Punkt B, desto grösser ist das Bestreben des Moleküls, vom Ort mit hoher Konzentration an den Ort mit tiefer Konzentration zu gelangen.

Übersetzt heisst das, dass Wandersleute wohl schneller aus einer völlig überfüllten, stickigen Halle loslaufen, je leerer die nächste ist. Ist die angrenzende Halle fast ebenso voll, so ist dieser Antrieb, den Platz zu wechseln, nur sehr gering, da ja nichts anderes zu erwarten ist als das, was sie sowieso schon haben.

#### Temperatur

Wie beim Konzentrationsunterschied verhält es sich auch bei der Temperatur. Je grösser der Unterschied, desto schneller verläuft der Prozess. Sind

draussen 50 °C im Schatten, so sind wir wohl viel schneller im gekühlten Rauminnern, als wenn draussen wie drinnen angenehme 25 °C herrschen.

Es gibt also viele Faktoren, die einen Einfluss auf die Diffusion haben können. Um nun eine möglichst gute und klare Aussage über ein Beschichtungssystem machen zu können, müssen diese Faktoren bewusst stabil gehalten oder kontrolliert beziehungsweise gemessen werden können. Damit kann man deren Einfluss auf die Diffusion ausschalten beziehungsweise einkalkulieren. Die Prüfung wird zum Beispiel bei konstanter Temperatur ausgeführt, damit deren Einfluss ausgeschlossen werden kann.

#### Die Theorie

Die Formel  $S_D = M \cdot x \cdot d$  (Kasten linke Seite) wird bei Diffusionsprüfungen von Beschichtungen verwendet. Sie beinhaltet alle notwendigen Faktoren, um das voran Beschriebene bei Diffusionsprüfungen von Anstrichen und Beschichtungen im Labor darzulegen. Auch hier kann mit einer Wanderung verglichen werden (Kasten rechts): Um den Schwierigkeitsgrad einer Wanderung zu bestimmen, beachtet man verschiedene Kriterien. Zum einen nimmt man die Horizontaldistanz (km). Man schaut also, wie weit man wandern würde, wenn die Route flach wäre. Da sie das aber meist nicht ist, muss auch die Steigung (Höhenmeter) berücksichtigt werden. Damit der Schwierigkeitsgrad einer Route fix definiert und mit anderen Strecken vergli-

chen werden kann, nimmt man als «Leistungszahl» die sogenannten «Leistungskilometer» (Lkm) zuhilfe. Diese werden anhand der beiden obigen Kriterien (Horizontaldistanz/Höhenmeter) berechnet.

Das Wanderszenario kann auf die Diffusionsprüfungsformel übersetzt werden (Tabelle Seite 21 oben).

#### Wissenschaftliche Erklärung

Mü gibt an, um welchen Faktor das betreffende Anstrichmaterial gegenüber Wasserdampf dichter ist als eine gleich dicke, ruhende Luftschicht. Multipliziert man sie mit der Schichtdicke (d) des durchwanderten Mediums (in unserem Fall der Beschichtung), erhält man  $S_D$ . Dieser Wert gibt den Widerstand der Beschichtung der besseren Verständlichkeit wegen in Form einer Dicke einer

#### Gleichung 2: Leistungskilometer (Lkm) = Horizontaldistanz (km) + Aufstieg(m)/100

Die Anzahl Leistungskilometer ist die Summe aus der Horizontaldistanz und den gelaufenen Höhenmetern durch 100. Das heisst, pro 100 Meter Steigung beziehungsweise zu überwindenden Höhenmetern wird 1 Kilometer zur Horizontaldistanz dazu addiert. Anhand des Profils der Marschroute, ist diese «Leistungszahl» also spezifisch für die Strecke. Jede Strecke kann demnach eine andere «Leistungszahl» aufweisen.

Blasenbildungen durch grössere Mengen im Fensterbereich eingedrungenen Wassers (Fenstergewände aus Tuffstein).



Grossflächige Betonabplatzungen und Risse im Beton durch starke Bewegungskorrosion (Volumenvergrösserung der rostenden Eisen). Der Grund dafür ist Betonkarbonatisierung.

Luftschicht in Metern an, da man sich dimensionslose Kennzahlen schlecht vorstellen kann. So kann man unterschiedliche Beschichtungssysteme bei gleicher Schichtdicke in Bezug auf deren Widerstand gegenüber der Diffusion miteinander vergleichen.

#### Prüfungsdurchführung im Detail

Eines vorneweg: Bei Diffusionsprüfungen von Beschichtungen kommt es in der Theorie grundsätzlich nicht auf die Art des Gases an. Ob es sich nun um Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder um Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) handelt, ist egal. Allerdings muss aufgrund anderer Eigenschaften

dieser Gase die Prüfung unterschiedlich ausgeführt werden – je nach Gas, welches getestet wird.

So wird beim Wasserdampf der Probekörper auf einem Gefäss mit annähernd 100 Prozent relativer Feuchte im Innern in einem Klimaschrank bei 23 °C und umgebenden 50 Prozent relativer Feuchte gelagert. Der Dampf wandert also aus dem Gefäss in die weniger gesättigte Schrankatmosphäre.

Andererseits werden die Probekörper bei der CO<sub>2</sub>-Diffusion auf mit einem CO<sub>2</sub>-Absorptionsmittel bestückte Glasgefässe montiert, die alles CO<sub>2</sub> sofort aufnehmen und aus diesem Grund annähernd 0 Prozent CO<sub>2</sub>-Konzentration ergeben. Diese Gefässe werden dann in einer 10-Prozent-CO<sub>2</sub>-Atmosphäre gelagert (normale Luft hat zirka 0,03 Prozent CO<sub>2</sub>-Gehalt).

#### Spannungsfeld für Materiallieferanten

Die Materiallieferanten bewegen sich in einem Spannungsfeld. Einerseits sollen ihre Beschichtungen möglichst wasserdampfdurchlässig sein, damit sich hinter der Beschichtung keine Ansammlungen von Wasser und damit Blasen bilden können.

Andererseits sollte die Beschichtung gerade im Betonbereich Kohlendioxid möglichst aussperren. Denn CO<sub>2</sub> ist bekanntlich für die Karbonatisierung des Betons und deren Folgen verantwortlich, die man möglichst verhindern möchte. Es gibt verschiedene Skalen, nach denen man die erhaltenen Werte beurteilt.



Blasenbildungen wegen zu hohen Dampfdiffusionswiderstands als Folge eines neuen Fassadenanstrichs.



Parameter	Wissenschaftliche Betrachtung	Übersetzung ins Wanderszenario
d	Schichtdicke der Beschichtung	Horizontaldistanz eines Marsches
Mü	Materialspezifische Kennzahl, die angibt, wie viel dichter das Anstrichmaterial ist als eine ruhende Luftschicht	Leistungskilometerzuschlag (Aufstieg/100), spezifisch für das zu absolvierende Gelände bzw. hier spezifisch für das zu überwindende Anstrichprodukt
S <sub>0</sub>	Rein theoretische Angabe einer durch den Wasserdampf zu überwindenden, ruhenden Luftschichtdicke	Leistungskilometer

len kann. Eine, die oft herangezogen wird, ist die EN 1504\_2 (Oberflächenschutzsysteme für Beton). Danach müssen Beschichtungsprodukte für Oberflächenschutzsysteme für Beton mindestens die folgenden Werte erreichen, um in die entsprechenden Klassen eingeteilt zu werden:

H<sub>2</sub>O-Diffusion:

- Klasse I <5 m
- Klasse II 5–50 m
- Klasse III >50 m

Die DIN EN 1062 macht in Bezug auf die Wasserdampfdiffusion jedoch noch eine

andere Einteilung. Nach dieser werden Anstriche wie folgt eingeteilt (siehe Tabelle unten).

**Schäden vermeiden**

Man kann sich, wie eingangs beschrieben, ganz schöne Probleme einhandeln, wenn man auf diese Punkte nicht achtet und einfach aufs Geratewohl eine Beschichtung appliziert. Verwendet man zum Beispiel einen zu dichten Anstrich, so kann ein bisher genügend dampfdurchlässiges System plötzlich zu dicht werden, was zu Blasenbildungen und Rissen führen kann. Langfristig kann

das Substrat sogar Schaden nehmen – so etwa Holz, das aufgrund langanhaltender, übermässiger Feuchte zu faulen beginnt.

**Probleme bei CO<sub>2</sub>-Diffusion**

Bringt ein Anstrich nicht den geforderten CO<sub>2</sub>-Widerstand (oder wird die Beschichtung zu dünn appliziert und weist daher zu wenig Widerstand auf), kann es zu frühzeitiger Betonkarbonatisierung kommen. Diese geht einher mit einer pH-Wert-Verminderung, sodass die Bewehrungsseisen im Beton nicht mehr vor Korrosion geschützt sind und zu rosten beginnen. Dies wiederum kann dann an abplatzendem Beton sowie Rostfahnen auf der Oberfläche erkannt werden.

Es lohnt sich immer, die Angaben des technischen Merkblattes bei der Auswahl der Produkte mit in die Evaluation einfließen zu lassen. Auch wenn dies bei der Arbeitsplanung einige Minuten mehr benötigt, so ist diese Zeit gut investiert im Vergleich zu den Kosten und Zeitaufwendungen, die bei Schäden durch die falsche Produktwahl entstehen können.

Klasse	Anforderungen	
	Wasserdampfdurchlässigkeit in g/(qm x d)	S <sub>0</sub> -Wert (= diffusionsäquivalente Luftschichtdicke) in m
V0	keine Anforderungen	
V1 hoch	> 150	< 0,14
V2 mittel	≤ 150	≥ 0,14
	> 15	< 1,4
V3 niedrig	≤ 15	≥ 1,4

CO<sub>2</sub>-Diffusion ist grundsätzlich > 50 m (wenn > 200 m = keine Angabe, da eine Prüfung zu ungenau wird)