

# Selbstheilende Beschichtungssysteme – ein Überblick

**KORROSIONSSCHUTZ** Auf Aktivpigmenten basierende so genannte „selbstheilende“ Beschichtungssysteme bieten neue Ansatzmöglichkeiten für eine Verbesserung des Korrosionsschutzes

Jörg A. Vogelsang

Die Korrosionskosten in entwickelten Nationen erreichen allgemeinen Schätzungen zufolge ca. sechs Prozent des Bruttoinlandsproduktes und verteilen sich in etwa zu gleichen Teilen auf direkte und indirekte Kosten. Beschichten stellt mit 90 Prozent der Korrosionsschutzkosten die hauptsächliche Schutzmaßnahme dar.

Leider muss akzeptiert werden, dass kein ewig lang wirksamer Korrosionsschutz von thermodynamisch nicht stabilen, niedrig legierten Stählen möglich ist. Grundsätzlich ist es nur eine Frage der Zeit, bis unter einer gegebenen atmosphärischen Belastung bei Beschichtungen irreversible Wasseraufnahme, Blasenbildung, Delamination, Rissbildung und schließlich Korrosionsprodukte des Substrates sichtbar werden. Abb. 1 zeigt das „Endstadium“ eines Beschichtungsversagens.

Zur Verlängerung der Schutzdauer von Beschichtungen gegen korrosive Medien werden seit vielen Jahrzehnten spezielle Pigmente, sogenannte Aktivpigmente, in die Grundbeschichtungsmaterialien eingebracht. Altbekannt sind die seit geraumer

Zeit wegen ihrer Giftigkeit und Umweltgefährdung verbotenen Pigmente aus Bleimennige und Zinkchromat. Zu deren umweltfreundlicherem Ersatz wurden zahlreiche neuere Aktivpigmente entwickelt.

Nachdem einige Jahre recht wenige grundlegende wissenschaftliche Arbeiten zum Thema aktiv wirksamer Korrosionsschutzpigmente erschienen sind, finden gegenwärtig mehrere Projekte statt, die sich mit der Erforschung und Entwicklung von Aktivpigmenten beschäftigen. Diese Projekte werden meist von multidisziplinären Konsortien betrieben – das wohl größte in diesem Zusammenhang ist das gerade im 7. EU-Rahmenprogramm begonnene EU-Projekt mit dem Akronym MUST.

Diese neuen Projekte benutzen alle den Begriff „selfhealing“ und die Arbeitsprogramme beinhalten nanotechnologische Methoden zur Herstellung neuartiger Substanzen mit oft mehreren Ansatzmöglichkeiten und Wirkmechanismen für einen gesteigerten Korrosionsschutz. Diese Projekte suchen auch nach technisch verbesserten und wirtschaftlich er-

folgreichen Ersatzlösungen für Chrom-VI-Vorbehandlungen in OEM-Anwendungen der Automobil- und Flugzeugindustrie. Der klassische „schwere“ Korrosionsschutz ist meist nur ein untergeordnetes Ziel für Verbesserungen, da die hier erzielbaren Deckungsbeiträge den Einsatz von teuren Rohstoffen noch nicht rechtfertigen.

Ältere und neue Aktivpigmente greifen, wie es der Ausdruck nahe legt, aktiv in den Korrosionsvorgang ein. Sie bilden entweder Schutzschichten aus, verschließen Verletzungen, fangen Korrosionsstimulatoren ab oder verdrängen Wasser durch die Freisetzung von hydrophoben Substanzen. Zinkstaub in Zinkstaubgrundierungen besitzt mehrere Wirkmechanismen, die jedoch nicht richtig mit den hier genannten beschrieben werden können. In den folgenden Abschnitten werden einige dieser Mechanismen näher diskutiert.

Die Wirkzusammenhänge dieser Pigmente sind allerdings komplex und häufig bis heute nicht schlüssig aufgeklärt, obwohl ganz griffige Modellvorstellungen postuliert sind. Ein gewisser Teil der Komplexität stammt aus der Vielzahl von Korro-



Abb. 1: Stahlrahmen eines Fahrrades, der im Anschluss an das finale Versagen der Beschichtung in die thermodynamisch stabilere Form des Eisens durch fortwährenden Witterungseinfluss im Tidenbereich der Ostsee umgewandelt worden ist

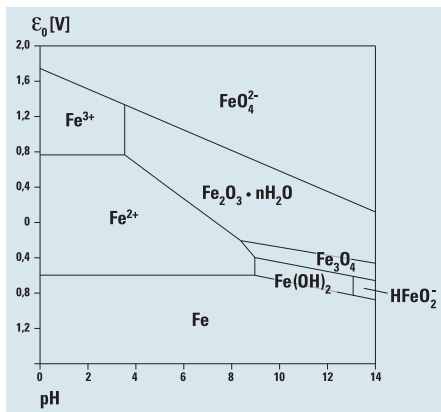


Abb. 2: Pourbaix-Diagramm

sionserscheinungen oder wird zumindest von diesen stark mit beeinflusst.

### Wirkungsweisen von Aktivpigmenten

Eisen ist je nach Medium und Polarisationsentweder passiv, kathodisch geschützt oder starker Korrosion ausgesetzt. Die Grundlagen hierzu lassen sich aus dem vereinfachten Pourbaix-Diagramm (Abb. 2) gut ableiten. Gelänge es nun, den Stahl komplett kathodisch zu schützen, d.h. sein Potenzial auf Dauer in den Bereich von -1000 mV (bezogen auf die gesättigte Kalomelektrode) zu verschieben, dann wären die meisten Probleme gelöst. Nur leider ist das wirtschaftlich und technisch nicht machbar. So bleibt nur, wenn die Passivität, wie sie z.B. bei Bewehrungsstählen in chloridfreiem Beton vorliegt, sich nicht ausbilden kann, den Werkstoff Stahl durch eine möglichst effiziente Beschichtung vom Medium zu trennen.

Folgende Ansatzpunkte sind denkbar, um den Korrosionsschutz durch Beschichtungen positiv zu beeinflussen:

- ▶ kathodischer Korrosionsschutz (Zn-Staub-Pigmentierung),
- ▶ Versiegelung von Poren (Mehrschichtaufbauten),
- ▶ Verstopfung der Poren (Zinkkorrosionsprodukte, unlösliche Eisensalze, Seifen),
- ▶ Barriereprinzip,
- ▶ Reaktion mit den Korrosionsstimulatoren,
- ▶ Haftungsverbesserung (Haftprimer, Silane o.Ä.),
- ▶ zusätzliche Schutzschichtbildung (Deckschicht zur Substratgrenzfläche),
- ▶ Anhebung des pH-Wertes (zementöse Beschichtung).

Als aktive Korrosionsschutzpigmente bezeichnet man Lackformulierungen zugegebene Festkörper, die die Korrosionsgeschwindigkeit mehr als andere Pigmente/Füllstoffe verringern. Durch die schützende Aktion werden diese Festkörper in ihrer Gestalt und chemischen Natur verändert.

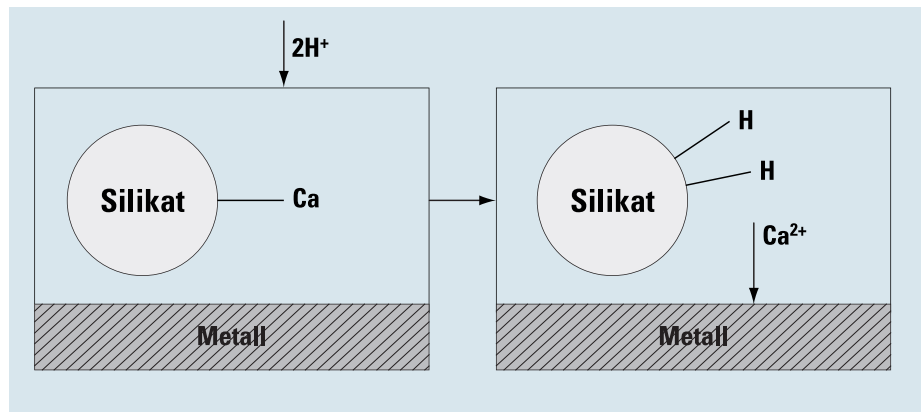


Abb. 3: Modellhafte Vorstellung zur Wirkungsweise eines Ionenaustauschers

Die Senkung der Korrosionsgeschwindigkeit kann geschehen, indem

- ▶ an der Grenzfläche Metall/Beschichtung der Aufbau einer Passivschicht stimuliert wird,
- ▶ die Reaktionsedukte Wasser und Sauerstoff am Zutritt zum Stahl durch Deckschichtbildung behindert werden,
- ▶ Poren verstopft werden,
- ▶ der Stahl kathodisch geschützt wird.

Die Eignung von Aktivpigmenten hängt in hohem Maße vom Bindemittel des Lacksystems ab. Aktivpigmente werden fast ausschließlich in Grundierungen eingesetzt. Grob können die Aktivpigmente in folgende Klassen eingeteilt werden:

- ▶ Passivatoren,
- ▶ Deckschichtbildner,
- ▶ Zinkstaub,
- ▶ Barrierepigmente,
- ▶ neue Materialien.

### Einteilung der Korrosionsschutzpigmente

**Passivatoren** Zu diesen gehören Natriumnitrit und andere nitritartige Inhibitoren, die als „flash rust inhibitor“ bei wasserverdünnbaren Grundierungen angewendet werden. Diese verhindern das Hochziehen von frisch entstandenen Korrosions-

produkten während der Filmbildung auf strahlereinigten Untergründen. Gleichfalls zählen die weitgehend verbannten Chromatpigmente wegen ihrer oxidierenden Wirkung zu den Passivschichtbildnern.

Bei Bleimennige (chemisch das Bleisalz der Ortho-Bleisäure) besitzt der +IV-wertige Anteil oxidierende Wirkung, jedoch ist der außergewöhnlich gute Schutz des verbannten Pigmentes auf mehrere Prozesse zurückzuführen, die eine Deckschichtbildung durch Bleibindemittelseifen und das Abfangen von Chloriden und Sulfaten (Korrosionsstimulatoren) durch unlösliches Bleichlorid und Bleisulfat umfassen.

**Deckschichtbildner** Die Deckschichtbildner unterteilen sich in solche Substanzen, die durch Chemisorption direkt eine Art Film auf dem Substrat bilden können, und solche, die durch Ausfällen von unlöslichen Verbindungen Deckschichten bilden und Hohlräume verstopfen. Hierzu gehören z.B. die Phosphat enthaltenden Pigmente wie auch Ionenaustauscher (Abb. 3) oder einige Metalloxidpigmente.

- ▶ Filmbildner: Zu den Filmbildnern gehören organische Moleküle, die entweder dem Beschichtungsstoff zugegeben wurden oder in Füllstoffe ▶

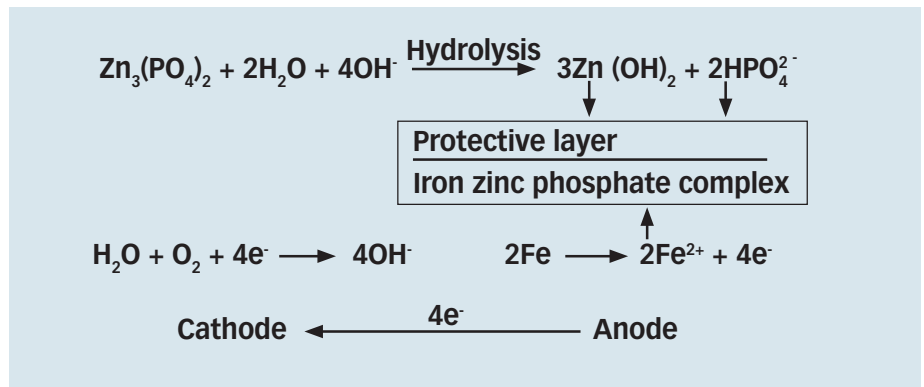


Abb. 4: Schematische Darstellung der Wirksamkeit von Zinkphosphat. Außer der Bildung des Eisenzinkphosphatkomplexes wird abhängig vom Bindemittel noch eine Zinkseife beschrieben, die in der Lage sei, durch Ausfällung Mikrohöhlräume abzudichten.

eingearbeitet wurden, die ihrerseits definierte Hohlräume zur Aufnahme dieser Moleküle besitzen und diese über einen längeren Zeitraum kontrolliert wieder abgeben können. Typische Vertreter wären Benzotriazole oder andere aminsubstituierte aromatische Heterozyklen.

► **Deckschichtbildner:** Zu dieser Kategorie gehört die große Gruppe der Phosphate, hauptsächlich Zinkphosphat und alle seine Modifikationen. In allen Fällen besitzt diese Gruppe von Aktivpigmenten nur eine Wirksamkeit, wenn eine gewisse Löslichkeit gegeben ist und die jeweilige Beschichtungsformulierung auf dieses Bedürfnis abgestimmt ist. Durch die Deckschichtbildung wird der Zutritt von Wasser, Sauerstoff und Korrosionsstimulatoren behindert. Eine einfache Skizze über den Mechanismus ist in Abb. 4 dargestellt.

**Zinkstaubgrundierungen** Zinkstaubgrundierungen werden hauptsächlich in Epoxidharzen sowie in Ethylsilikaten angewendet, andere Bindemittel sind von untergeordneter Bedeutung. Die Pigmentierungshöhe variiert je nach Bindemittel und Einsatzgebiet. ISO 12944 Teil 4 differenziert zwischen Zinkstaubgrundbeschichtungsstoffen mit einem Zinkanteil von mindestens 80 Prozent im nicht flüchtigen Anteil und „anderen Grundbeschichtungsstoffen“, mit kleineren Anteilen. Es wird jedoch in der Norm explizit darauf hingewiesen, dass in einigen Ländern dieser Grenzwert höher sein kann, denn die hier angegebene Menge bezieht sich auf die in ISO 12944 beschriebenen Schutzdauern. Die Lehrmeinung schreibt einen möglichst hohen Gehalt an Zinkstaub vor, so hoch, dass die Perkolation der Pigmente gegeben ist. Diese sei notwendig, um den Schutz

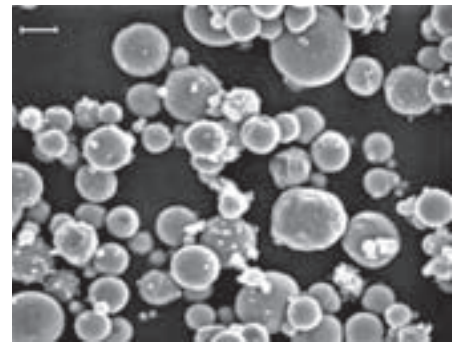


Abb. 6a: REM-Aufnahme von Zinkstaub

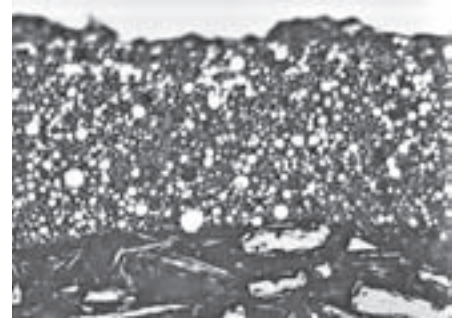


Abb. 6b: Lichtmikroskopische Hellfeldaufnahme einer Zinkstaubgrundierung. Oben ist das raue Stahlsubstrat zu erkennen und unten eine mit Eisenglimmerblättchen pigmentierte Zwischenbeschichtung.

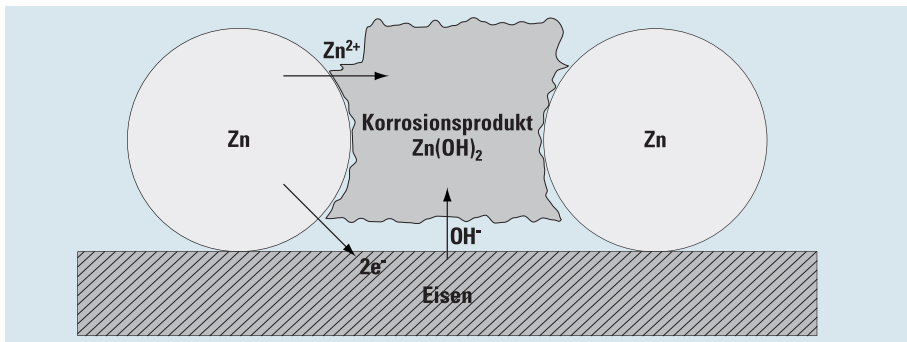


Abb. 5a: Zinkpartikel übertragen Elektronen auf das Stahlsubstrat und polarisieren dieses kathodisch. Dadurch wird der Stahl vor Korrosion geschützt. Als Gegenreaktion gehen Zinkionen kurzzeitig in Lösung, um mit gleichfalls gebildeten Hydroxylionen Korrosionsprodukte des Zinks zu bilden. Diese Korrosionsprodukte, hauptsächlich Zinkhydroxid und Zinkcarbonat, verstopfen nun Hohlräume und Mikroporen.

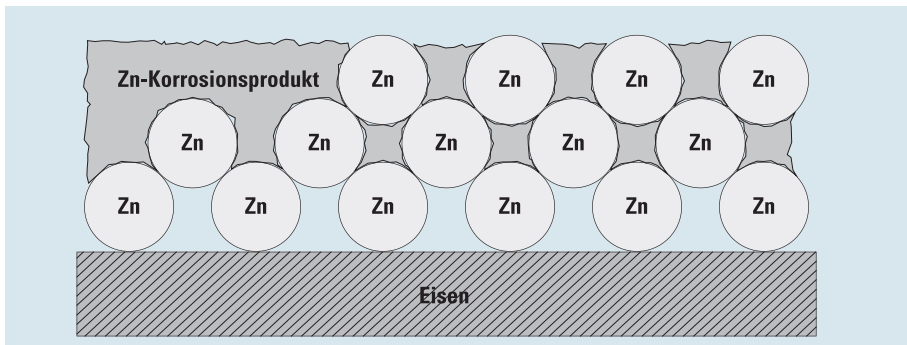


Abb. 5b: Korrosionsprodukte des Zinks versiegeln Hohlräume zwischen den Zinkstaubpartikeln

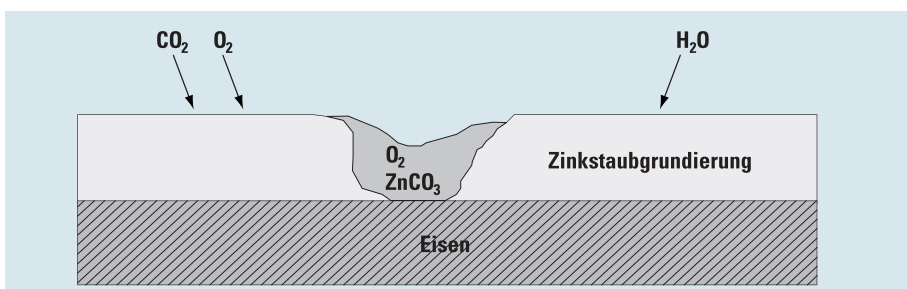
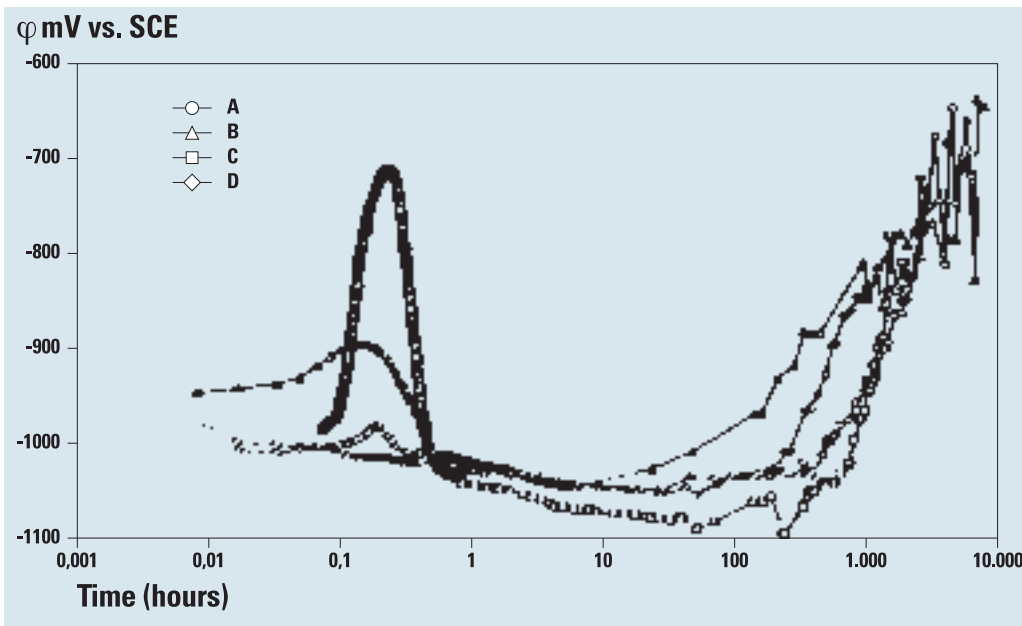


Abb. 5c: Auch kleinere Verletzungen können durch die abgeschiedenen Korrosionsprodukte des Zinks wieder „ausgeheilt“ werden

des Stahls ähnlich wie bei einer Verzinkung durch kathodische Polarisation zu ermöglichen. Hier wird häufig sogar von überkritischer Pigmentvolumenkonzentration gesprochen, was der Fall ist, wenn nicht mehr alle Pigmentpartikel im ausgehärteten Film komplett vom Bindemittel umschlossen werden können.

Abb. 5a–c zeigt schematisch, wie Zinkstaub durch Bildung von Korrosionsprodukten den Korrosionsschutz des Gesamtaufbaus verbessert. Abb. 6a zeigt eine raster-elektronenmikroskopische Aufnahme von Zinkstaub und Abb. 6b zeigt eine lichtmikroskopische Hellfeldaufnahme eines Schliffes durch eine Zinkstaubgrundierung. Der hohe Gehalt an Zinkpartikeln ist gut zu erkennen.

Seit einigen Jahren wird über die notwendige Pigmentierungshöhe diskutiert und dabei werden verschiedene Mechanismen gegeneinander abgewogen. Diese Diskussion wurde unter anderem durch folgende Überlegungen angeheizt: In Abb. 7 sind Potenzial-Zeit-Kurven verschiedener Zinkstaubbeschichtungen unter Immersionsbedingungen dargestellt, wobei die Zeitachse logarithmisch aufgetragen wurde. Es zeigt sich, dass diese Beschichtungen nach einigen Minuten eine eindeutige kathodische Polarisation des Substrates verursachen und dieses Potenzial auch über mehrere Tausend Stunden aufrechterhalten können. Aber eben nur über einige Tausend Stunden und nicht für immer. Daraus ►

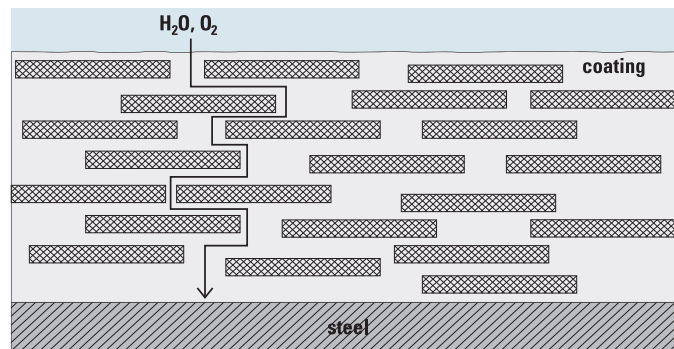


**Abb. 7:** Potenzial-Zeit-Kurven verschiedener Zinkstaubgrundierungen unter Immersionsbedingungen. Es zeigt sich, dass diese Beschichtungen über mehrere 100 bis einige 1000 Stunden das Stahlsubstrat ausreichend kathodisch polarisieren können. Umgekehrt argumentiert folgt hieraus, dass nach spätestens einigen Tausend Stunden der Kathodenschutz zum Erliegen kommt und andere Mechanismen dazu beitragen, dass Zinkstaubgrundierungen einen hervorragenden Korrosionsschutz erbringen.

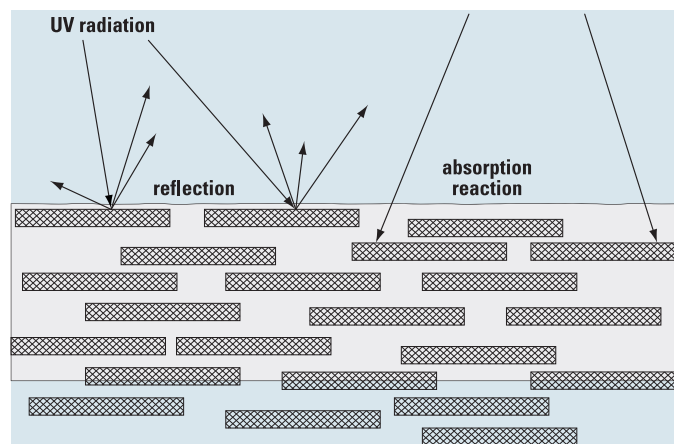
lässt sich schließen, dass Zinkstaubgrundierungen, die in der Vergangenheit ihre herausragenden, lange Zeit wirksamen Schutzeigenschaften beliebig oft gezeigt haben, nicht nur durch kathodische Polarisation wirken, sondern eben auch durch die zuvor beschriebenen Effekte der Zementation. Darunter versteht man genau diese Prozesse des Verschließens der Poren und Hohlräume durch Korrosionsprodukte und daraus folgernd eine Verbesserung der Barrierewirkung eines Beschichtungssystems.

Neuerdings wird versucht, die Beständigkeit des Beschichtungssystems als Kriterium von Zinkstaubbeschichtungen festzulegen, um damit von einer Mindestgehaltsangabe an Zinkstaub wegzukommen. Dadurch wird es möglich, teuren und schweren Zinkstaub partiell durch leichtere, häufig barrierewirksame und günstigere Pigmente zu ersetzen.

**Barrierepigmente** Barrierepigmente stehen im Ruf, den Zutritt von Wasser, Sauerstoff und Schadstoffen zum Substrat zu behindern. Dies soll durch verlängerte Diffusionswege durch die Beschichtung erreicht werden, wie es in Abb. 8 schematisch



**Abb. 8:** Barriereeffekt: Diffusionswege für Wasser, Sauerstoff und Korrosionsstimulatoren (Ionen) werden verlängert durch dachschindelartige Anordnung von blättchenförmigen Pigmenten. Blättchenförmige Pigmente sind z.B. Eisenglimmer, Glimmer, Glas- und Metallflakes.



**Abb. 9:** Blättchenförmiger Eisenglimmer reflektiert UV-Licht und schützt dadurch darunter liegendes Bindemittel. Das Bindemittel an der Oberfläche absorbiert UV-Licht und wird mit der Zeit abgebaut, es reichern sich dadurch Eisenglimmerpigmente an der Oberfläche an und schützen so die Beschichtung vor weiterem UV-Abbau.

tisch gezeigt ist. Eisenglimmer hat seit vielen Dekaden eine besondere Bedeutung im Korrosionsschutz. Unbestritten ist dabei die außergewöhnlich gute Schutzeigenschaft einer Beschichtung mit einem hohen Anteil an Eisenglimmer. Hierbei zeigt sich noch ein weiterer positiver Effekt des metallisch schimmernden, nicht transparenten Pigmentes. So ist es in der Lage, das Bindemittel vor UV-Abbau zu schützen (Abb. 9). Ähnlich wie durch einen Sonnenschirm wird das Bindemittel unter den Pigmentpartikeln vor UV-Licht geschützt, die Kreidung ist stark gemindert.

Seit Mitte der 90er-Jahre hat allerdings eine Diskussion stattgefunden, bei der Zweifel an der reinen Lehre des Barriereeffektes auftraten. So wurden Messungen gezeigt, die eine schnellere und höhere Wasseraufnahme belegten als bei anderweitig gefüllten Beschichtungen. Diese Messungen können so interpretiert werden, dass Eisenglimmer in der Lage ist, die Einstellung der Gleichgewichtskonzentration des Wassers in der Beschichtung mit der Umgebung der Beschichtung zu stimulieren und so eine ungewollte Akkumulation von Wasserclustern vermeiden werden kann. Denn es ist zweifelsfrei unmöglich, Wasser gänzlich aus Beschichtungen fernzuhalten. Nur muss vermieden werden, dass sich Wassercluster in Beschichtungen aufgrund von schnellen Wechseln des Befeuchtungszustandes irreversibel bilden können. Und genau in dem positiven Einfluss auf die Gleichgewichtseinstellung und den stimulierten Wassertransport in Beschichtungen könnte ein weiterer Grund für die herausragenden Eigenschaften von eisenglimmergefüllten Beschichtungssystemen liegen. Eine vertiefte Diskussion und abschließende Beurteilung der Fakten steht allerdings noch aus.

**Neue Ansätze** In diesem Abschnitt sollen die neueren Tendenzen bei Strategien zur Verbesserung des Korrosionsschutzes vorgestellt werden. ▶

	Nanotraps	Wasserverdrängung	Heilung durch Polymerisation	Korrosionsinhibierung
Äußerer Einfluss	Zunehmende Konzentration von korrosiven Agenzien in der äußeren Umgebung	Hohe Wasserkonzentration und mechanische Belastung oder Alterungseinflüsse	Stärkerer mechanischer Angriff	Hohe Konzentration von korrosiven Spezies
Innerer Zustand	Intakte Beschichtung ohne Defekte	Erste Mikrorisse bilden sich	Bildung größerer Risse	Korrosionsprozess beginnt in den gebildeten Defektstellen
Hauptsächliche Aufgabe	Verhindert die Penetration von korrosiven Agenzien zum metallischen Substrat	Verhindert Kontakt von Wasser zum metallischen Substrat	Heilung der gebildeten Risse	Inhibierung der Korrosionsprozesse
Schutzmechanismus	Absorption von korrosiven Spezies durch spezifische nanoskalige Absorbentien, sog. Nanotraps	Verdrängen von Wasser durch Abgabe von hydrophoben flüssigen Komponenten aus den Nano-/Mikro-Behältern aufgrund deren mechanischer Schädigung	Aus Mikrobehältern wird ein Monomer freigesetzt, das einen dünnen Polymerfilm bildet und den mechanischen Defekt ausheilt	Aus den Nanocontainern freigesetzter Korrosionsinhibitor unterdrückt die Korrosionsprozesse. Die Freisetzung wird getriggert durch Start der Korrosionsaktivität auf der Metalloberfläche
Weitere Schutzfunktionen	Bei Ionenaustauschern kann die Absorption korrosiver Anionen die Desorption von aktiv inhibierenden oder bioziden Spezies triggern. Zunahme von mechanischen Eigenschaften bei Zugabe zu Deckschichten	Zusätzlich aktive Komponenten können zum Hydrophobierungsmittel zugegeben werden. Verbesserung der Gleiteigenschaften der Oberfläche	-	-

Tab. 1: Vier Schritte eines kombinierten vierstufigen Schutzkonzeptes

Diese umfassen meist kombinierte Strategien zur Reduktion des Zutritts von aggressiven Agenzien zur Beschichtung-Substrat-Grenzfläche.

In Tab. 1 sind die vier wesentlichen Schritte eines kombinierten vierstufigen Schutzkonzeptes kurz dargestellt, wie es gegenwärtig in einem EU-geförderten Projekt umgesetzt wird. Ähnliche Konzepte werden auch von Forschergruppen in den Niederlanden und den USA verfolgt. Dabei werden Hohlkörper oder lamellare Schichtpartikel im Submikrometerbereich gezielt mit polymerisierenden Monomeren, Inhibitoren oder Hydrophobierungsmitteln dotiert. Diese beladenen Partikel geben dann unter spezifischen Triggerereignissen diese Agenzien aktiv ab und sorgen somit für eine Selbstheilung von Defekten in allen Stadien ihrer Entstehung. Weitere Konzepte greifen auf schon bekannte Effekte von sich selbst anordnenden Monoschichten zurück, wie sie seit einigen Jahren z.B. bei Leichtmetallfolien verwendet werden, und versuchen diese Schichten elektrochemisch zu polymerisieren. Diese dünnsten Polymerschichten werden je nach eingesetztem Monomer teilweise leitfähig. Inwieweit sich diese Konzepte im sog. schweren Korrosionsschutz einführen lassen, ist noch unklar. Ziel

dieser Projekte ist aber unter anderem, auch die Haftung auf verzinkten Substraten zu verbessern. Hier ließe sich eine industrielle Vorbehandlung nach dem Verzinken vorstellen. An einen Einsatz auf der Baustelle oder zur Sanierung bestehender Strukturen ist wohl eher nicht zu denken, denn der Nachweis einer erbrachten Leistung vor Ort wird beliebig schwierig werden, denn man stelle sich nur vor, wie man unsichtbare dünnste Schichten von nur wenigen Nanometern auf rauen Oberflächen mit Rautiefen von 50 µm nachweisen will.

Dem ungebrochenen grünen Trend folgend wird zurzeit versucht, mit extrazellulären polymeren Substanzen aus Bakterienkulturen neuartige biogene Polymere zu entwickeln, die im Korrosionsschutz eingesetzt werden können. Diese Arbeiten sind aber noch recht weit von einer kommerziellen Nutzung entfernt. Und es bleibt bisher unklar, ob diese chemisch modifizierten Biopolymere wirtschaftlich konkurrenzfähig sein werden, selbst dann, wenn ihre Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden kann. Ebenso ist unklar, ob die scheinbar notwendige chemische Modifikation den Begriff Biopolymer rechtfertigt und ob die resultierenden Substanzen wirklich einen Fortschritt in die „grüne Richtung“ darstellen werden.

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag präsentiert die wesentlichen Aspekte zur Beeinflussung der Korrosionsprozesse mithilfe von Aktivpigmenten und diskutiert die Selbstheilung von Defekten in Beschichtungen. Dabei werden einige Möglichkeiten für weiterführende vertiefende Arbeiten aufgezeigt, die bisher nur ansatzweise begonnen wurden. So bleibt die Rolle von Wasser in Beschichtungen nur unzureichend verstanden. Ob Hydrophobierungen wirklich sinnvoll sind, wird hoffentlich aus den kurz beschriebenen

neuen Projekten gefolgert werden können.

Offen ist gegenwärtig, inwieweit diese neuen Ansätze Eingang in den so genannten schweren Korrosionsschutz außerhalb von OEM-Anwendungen finden werden.

## Der Autor:

**Dr. Jörg A. Vogelsang,**  
SIKA Technology AG,  
Zürich, Schweiz

Dieser Artikel basiert auf dem Vortrag „Altbekanntes und Neues über selbstheilende Beschichtungssysteme für den schweren Korrosionsschutz“, der im Rahmen der 8. Tagung „Korrosionsschutz in der maritimen Technik“, am 29. Januar 2009 in Hamburg gehalten wurde.

## ► BUCHBESPRECHUNG

**Compendium Marine Engineering – Operating – Monitoring – Maintenance** Das Standardwerk „Handbuch Schiffsbetriebstechnik“ ist ins Englische übersetzt worden. Komplett überarbeitet ist mit dem „Compendium Marine Engineering“ ein internationales Arbeitshandbuch entstanden. Auf dem neuesten Stand der Technik beschreibt es bewährte technische Lösungen und bietet praktische Hilfestellungen und Lösungsansätze zur systematischen Fehlersuche bei Störungen und Unregelmäßigkeiten in allen schiffstechnischen Bereichen. Basierend auf Untersuchungen und Berichten von zahlreichen Wissenschaftlern, Ingenieuren und angesehenen Experten der Branche bietet es ein praktisches und umfassendes Nachschlagewerk für die Arbeit im Bereich der Schiffsbetriebstechnik.



**Compendium Marine Engineering  
Operation – Monitoring – Maintenance**  
Hansheinrich Meier-Peter, Frank Bernhardt  
DVV Media Group | Seehafen Verlag  
1100 Seiten, Hardcover  
ISBN 978-3-87743-822-0  
Preis 98,- Euro  
[www.schiffundhafen.de](http://www.schiffundhafen.de)