

Neuburger Kieselerde

in Medium Solid Epoxidharz-

beschichtungen für den

Korrosionsschutz

Verfasser: Bodo Essen
Hubert Oggermüller

Inhalt

- 1 Einleitung und Zielstellung

- 2 Experimentelles
 - 2.1 Basisrezeptur
 - 2.2 Füllstoffe
 - 2.3 Rezepturvarianten
 - 2.4 Präparatives
 - 2.5 Beurteilungskriterien Korrosionsschutz

- 3 Ergebnisse
 - 3.1 Allgemeine Eigenschaften
 - 3.1.1 Herstellbarkeit
 - 3.1.2 Lagerstabilität
 - 3.1.3 Rheologie und Verlauf
 - 3.1.4 Beschichtungshärte
 - 3.2 Korrosionsschutz auf gestrahltem Stahl
 - 3.2.1 Reduzierter Anteil Zinkphosphat
 - 3.2.2 Ohne Zinkphosphat
 - 3.3 Korrosionsschutz auf ungestrahltem Stahl
 - 3.3.1 Reduzierter Anteil Zinkphosphat
 - 3.3.2 Einsatz von Aminosilan

- 4 Zusammenfassung

1 Einleitung und Zielstellung

Korrosionsschutzbeschichtungen liefern einen wichtigen Beitrag zum Werterhalt von Bauwerken und Wirtschaftsgütern. Derartige Beschichtungen enthalten häufig Zinkphosphat als aktives Korrosionsschutzpigment sowie Füllstoffe, die zur weiteren Verbesserung anwendungstechnischer Eigenschaften eingesetzt werden.

Strengere gesetzliche Auflagen engen die Verwendung hoher Zinkphosphatgehalte jedoch zunehmend ein. Je geringer der Anteil an Korrosionsschutzpigment in der Formulierung, desto wichtiger ist eine geeignete Füllstoffauswahl. Unterschiede in der Rauigkeit der zu beschichtenden Substratoberfläche stellen eine zusätzliche Herausforderung dar.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob nicht hochwertige funktionelle Füllstoffe auf Basis der Neuburger Kieselerde die reduzierte Wirkung des Korrosionsschutzpigmentanteils kompensieren können.

Dazu wurden Formulierungen, die sich durch unterschiedliche Zinkphosphatkonzentrationen und variierte Füllstoffkombinationen unterscheiden im klassischen Salzsprühnebeltest bzw. Kondenswassertest bewertet. Zusätzlich wurde der additive Einsatz von Aminosilan als Haftvermittler berücksichtigt.

2 Experimentelles

2.1 Basisrezeptur

Grundlage der vorliegenden Untersuchung ist ein gebräuchlicher 2K-Korrosionsschutzprimer auf Basis eines Standard-Epoxidharzes und eines Polyamidharzes als Härterkomponente. Ein Festkörpergehalt von 68 % und ein Anteil flüchtiger Bestandteile (VOC) von 430 g/l verweisen auf den Medium-solid-Charakter der Formulierung. Abb. 1 zeigt die Zusammensetzung der zugrundeliegenden Basisrezeptur (Kontrolle), die neben Zinkphosphat als aktivem Korrosionsschutzpigment eine klassische Füllstoffkombination aus Talkum und Bariumsulfat enthält.

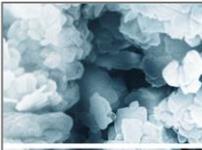
		HOFFMANN MINERAL		
 EINLEITUNG EXPERIMENTELLES ERGEBNISSE ZUSAMMENFASSUNG ANHANG 	Basisrezeptur			
	2K-Epoxidharz-Polyamidprimer medium-solid		Gewichts- teile	
	A	Epikote 1001 x 75	Epoxidfestharz auf Basis Bisphenol A, 75 %ig in Xylol, EEW 633	23,8
		Bentone 34, Gel	Rheologieadditiv, 10 %ig in Xylol / Ethanol 87:3	4,3
		Xylol	Lösungsmittel	6,5
		Ethylglykol	Lösungsmittel	4,7
		MIBK	Lösungsmittel, Methylisobutylketon	6,6
		Nusa 57	Netz- und Dispergieradditiv	0,4
		BYK-354	Verlaufsadditiv	0,8
		Sachtleben RD3	Pigment, Titandioxid	5,9
		Zinkphosphat	Korrosionsschutzpigment	7,5
		Talkum	Füllstoff, Magnesiumsilikathydrat	19,0
		Blanc fixe	Füllstoff, Bariumsulfat gefällt	7,8
	B	Versamid 115 x70	Polyamidharz, 70 %ig in Xylol, HEW 283	12,7
	Summe			100,0
	Feststoffgehalt m/m	[%]	68,0	
	Pigmentvolumenkonzentration (PVK)	[%]	33,8	
	Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	[g/l]	430	
VM-3/0309/09.2019				

Abb. 1

2.2 Füllstoffe

Abb. 2 listet die Kennwerte der untersuchten Füllstoffe auf. Die Daten sind laborintern ermittelt und so direkt miteinander vergleichbar.

Das Talkum zeigt eine mittlere Ölzahl und ist geprägt durch eine relativ grobe, lamellare Kornform. Als weiterer typischer Wettbewerbsfüllstoff für Korrosionsschutzanwendungen wurde ein natürliches Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit getestet. Morphologisch gesehen handelt es sich um eine Mischstruktur aus korpuskularen und lamellaren Bestandteilen. Die Korngröße ist ebenfalls relativ grob; die Ölzahl und spezifische Oberfläche liegen im Bereich der Kennwerte des Talkums.

Vergleichend zu diesen Füllstoffen wurde die Leistungsfähigkeit der Neuburger Kieselerde bewertet. Sie ist ein in der Natur entstandenes Gemisch aus korpuskularer, kryptokristalliner und amorpher Kieselsäure und lamellarem Kaolinit: ein loses Haufwerk, das durch physikalische Methoden nicht zu trennen ist. Der Kieselsäureanteil weist durch seine natürliche Entstehung eine runde Kornform auf und besteht aus ca. 200 nm großen, aggregierten kryptokristallinen Primärpartikeln, die mit amorpher Kieselsäure opalartig überzogen sind. Durch die besondere Struktur und die Feinteiligkeit ergibt sich die relativ hohe spezifische Oberfläche.

Das Testprogramm enthält zwei modifizierte Typen, deren Wechselwirkung mit der Polymermatrix durch Silanisierung der Füllstoffoberfläche gezielt eingestellt ist: Aktisil PF 777 stellt eine mit einer alkyl-funktionellen Gruppe hydrophob modifizierte Variante der Neuburger Kieselerde dar, während sich Aktisil AM durch eine Oberflächenbehandlung mit einer amino-funktionellen Gruppe auszeichnet.

		Füllstoffkennwerte			
		Talkum	Natürliches Gemisch aus Quarz, Glimmer, Chlorit	Neuburger Kieselerde 	
				Aktisil PF 777	Aktisil AM
EINLEITUNG EXPERIMENTELLES ERGEBNISSE ZUSAMMENFASSUNG ANHANG	Morphologie	lamellar	korpuskular / lamellar		
	Dichte [g/cm ³]	2,8	2,8	2,6	2,6
	Korngröße d ₅₀ [µm]	6,8	8,0	2,2	2,2
	Korngröße d ₉₇ [µm]	18	27	10	10
	Ölzahl [g/100g]	45	43	35	45
	Oberfläche BET [m ² /g]	5	5	8	9
	Oberflächen-modifizierung	---	---	alkyl-funktionalisiert hydrophob	amino-funktionalisiert
	VM-3/0309/09.2019				

Abb. 2

2.3 Rezepturvarianten

Gemäß Abb. 3 wurde der Anteil Zinkphosphat teilweise oder vollständig durch Talkum volumengleich ersetzt. Ein zweiter Schritt variierte den Füllstofftyp. Zur Gleichhaltung der PVK ergeben sich, bedingt durch verschiedene Füllstoffdichten, geringfügig unterschiedliche Dosierungsmengen. Der Anteil des gefällten Bariumsulfats blieb bei allen Formulierungsvarianten unverändert. Sofern verwendet, wurde das Aminosilan nach Einmischen in den Härter in die Formulierung eingebracht.

EINLEITUNG <u>EXPERIMENTELLES</u> ERGEBNISSE ZUSAMMENFASSUNG ANHANG		Rezepturvarianten			HOFFMANN MINERAL
		Ersatz Korrosionsschutzpigment durch Füllstoff PVK-gleich			
		Kontrolle [Gew.-T.]	Reduziert [Gew.-T.]	Ohne [Gew.-T.]	
		Zinkphosphat	7,5	2,5	0
		Talkum	19,0	22,8	24,7
		Füllstoffersatz, PVK-gleich			
		Natürliches Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit		22,8	24,7
		Neuburger Kieselerde		21,3	23,1
		Zugabe von 1 Gew.-T. (3-Aminopropyl)triethoxysilan zu Komp. B (Versamid) wie angezeigt			
		VM-3/0309/09.2019			

Abb. 3

2.4 Präparatives

Die Herstellung erfolgte mittels Dissolver mit Perlmühlenvorrichtung. Nach Zusammenmischen der Bestandteile in Reihenfolge der Rezepturnennung erfolgte die Dispergierung durch Anreibung mit 2 mm-Glasperlen für 15 Minuten bei einer Umfangsgeschwindigkeit der Mahlscheibe von 7,8 m/s. Nach Zugabe der Härterkomponente wurde die komplettierte Formulierung bei 4 bar Luftdruck mit einer 1,2 mm-Düse einschichtig spritzappliziert. Die resultierende Trockenschichtdicke betrug bei allen Formulierungen ca. 80 µm. Der gewählte einschichtige Auftrag stellte bewusst kritische Ausgangsbedingungen für die folgenden Korrosionsprüfungen ein, da jeder kleinste Filmdefekt als Rostpunkt sichtbar wird.

Danach trockneten und konditionierten die Prüflinge über einen Zeitraum von 14 Tagen bei 23 °C und 50 % Luftfeuchtigkeit.

Unmittelbar vor Prüfbeginn wurde ein Teil der Beschichtungen mit einem Ritzstichel nach Van Laar (halbrunde Metallspitze) angeritzt.

Als Substrat dienten gestrahlte Prüfbleche aus unlegiertem, kaltgewalztem Stahl mit den Abmessungen 150 x 100 x 2 mm. Die Situation bei immobilen Stahlbauwerken repräsentierend wurde eine gestrahlte Oberfläche entsprechend DIN EN ISO 12944 Teil 6 mit Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 1/2 bei einer Oberflächenrauheit „mittel (G)“ gewählt.

Zusätzlich wurden Beständigkeitsprüfungen auf ungestrahltem Stahl (Q-Panel Typ R-48, 200 x 100 x 0,8 mm) durchgeführt. Dieser erweist sich durch die relativ glatte Oberfläche als sehr kritisch verglichen mit gestrahltem Stahl.

2.5 Beurteilungskriterien Korrosionsschutz

Zur Beurteilung des Korrosionsschutzverhaltens wurde der Kondenswassertest gemäß DIN EN ISO 6270-2 CH sowie der klassische, neutrale Salzsprühnebeltest gemäß DIN EN ISO 9227 durchgeführt. Die Bewertung des Schadensbildes erfolgte sowohl auf der Fläche als auch an der definiert angebrachten Ritzverletzung anhand der in *Abb. 4* angeführten spezifischen Prüfmerkmale.

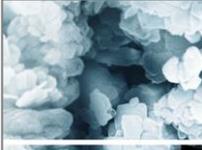
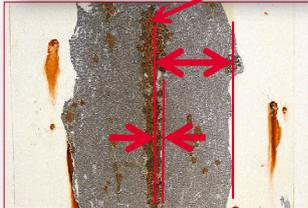
Korrosionsschutz Kriterien		HOFFMANN MINERAL
EINLEITUNG <u>EXPERIMENTELLES</u> ERGEBNISSE ZUSAMMENFASSUNG ANHANG	    	Fläche: Haftung (Gitterschnitt) DIN EN ISO 2409 Blasengrad DIN EN ISO 4628-2 Flächenkorrosion ASTM D 610 <hr/> Ritz: Blasengrad DIN EN ISO 4628-2 Korrosionsintensität Enthftung DIN EN ISO 4628-8 Unterrostung DIN EN ISO 4628-8 Lochfraßtiefe (max. Tiefe Ritz)
VM-3/0309/09.2019		

Abb. 4

Während die genormten Bewertungskriterien quantitativ vollständig erfassbar sind, lassen die Rostmenge am Ritz und die Korrosionstiefe durch abgetragenes Substratmaterial näherungsweise Rückschlüsse auf die Intensität des Korrosionsvorganges zu.

Für die Gesamtbeurteilung wurde die Ausprägung des jeweiligen Prüfmerkmals in angegebener Weise mit einem numerischen Rating von 0-10 Punkten gemäß *Abb. 5* bewertet. Unter gleicher Gewichtung der einzelnen Merkmale ergibt die Höhe des resultierenden, kumulierten Zahlenwertes somit eine direkte Aussage zur Leistungsfähigkeit des Beschichtungssystems.

		Korrosionsschutz											HOFFMANN MINERAL	
		Leistungsbewertung												
		Kriterium	Punkte ->	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EINLEITUNG		Fläche												
	1	Haftung Gitterschnitt	[GT]	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5
EXPERIMENTELLES	2	Blasengrad	Menge Größe	-	1	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	>5	kopl. Enthftung
				-	1	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	>5	
ERGEBNISSE	3	Flächen- korrosion	[%]	0	0,03	0,1	0,3	1	3	10	16	33	50	100
ZUSAMMENFASSUNG		Ritz												
ANHANG	4	Blasengrad	Menge Größe	-	1	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	>5	kopl. Enthftung
				-	1	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	>5	
	5	Enthftung	[mm]	0	2	4	7	10	13	16	20	25	30	40
	6	Unterrostung	[mm]	0	0,5	1	2	3	5	7	9	12	15	20
	7	Lochfraßtiefe	[mm]	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	8	Korrosions- intensität	-	sehr gering		gering		moderat		hoch		sehr hoch		
	kumuliert gemäß 1 – 8 maximal 80 Punkte			80	72	64	56	48	40	32	24	16	8	0
				sehr gut						sehr schlecht				
VM-3/0309/09.2019														

Abb. 5

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeine Eigenschaften

3.1.1 Herstellbarkeit

Die Füllstoffkombinationen zeichnen sich in ihrer jeweiligen Dosierung durch insgesamt gute Einarbeitbarkeit aus. Geringfügige Vorteile resultieren für Aktisil AM und das Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit. Letzterer Füllstoff gibt sich nach der Anreibung bei der Dispergiergradbestimmung durch etwas geringere Feinteiligkeit am Grindometer zu erkennen (Abb. 6).

		A-Komponente				
		Kontrolle 7,5	2,5 bzw. 0 Gew.-T. Zinkphosphat			
		Talkum	Talkum	Quarz/ Glimmer/ Chlorit	Aktisil PF 777	Aktisil AM
EINLEITUNG	EXPERIMENTELLES					
	ERGEBNISSE					
• Allgemeine Eigenschaften						
ZUSAMMENFASSUNG	Einarbeitung Füllstoff	☺	☺	☺☺	☺	☺☺
ANHANG	Kornfeinheit [µm]	5	5	10	5	5

Abb. 6

3.1.2 Lagerstabilität

Die Lagerstabilität ist nach 60 Tagen bei 23°C für alle Formulierungen als sehr gut zu bezeichnen. Der Stammlack ist frei von Bodensatz; Serum- und füllstoffhaltige Phase sind leicht homogenisierbar.

3.1.3 Rheologie und Verlauf

Die rheologischen Daten wurden an einem MCR300-Rheometer der Fa. Paar in einem Zylindersystem unter Rotationsbedingungen bestimmt. In Abb. 7 sind die repräsentativen Viskositätskurven der Formulierungen mit reduziertem Anteil Korrosionsschutzpigment vergleichend dargestellt.

Die höhere Viskosität im niedrigen Scherbereich weist für alle Formulierungen strukturviskoses Verhalten aus, welches füllstoffabhängig unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Mit Talkum ergibt sich gegenüber dem Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit ein deutlich erhöhtes Kurvenniveau. Dagegen gleicht der Viskositätsverlauf mit Aktisil AM letzterem und markiert somit den niedrigeren Bereich.

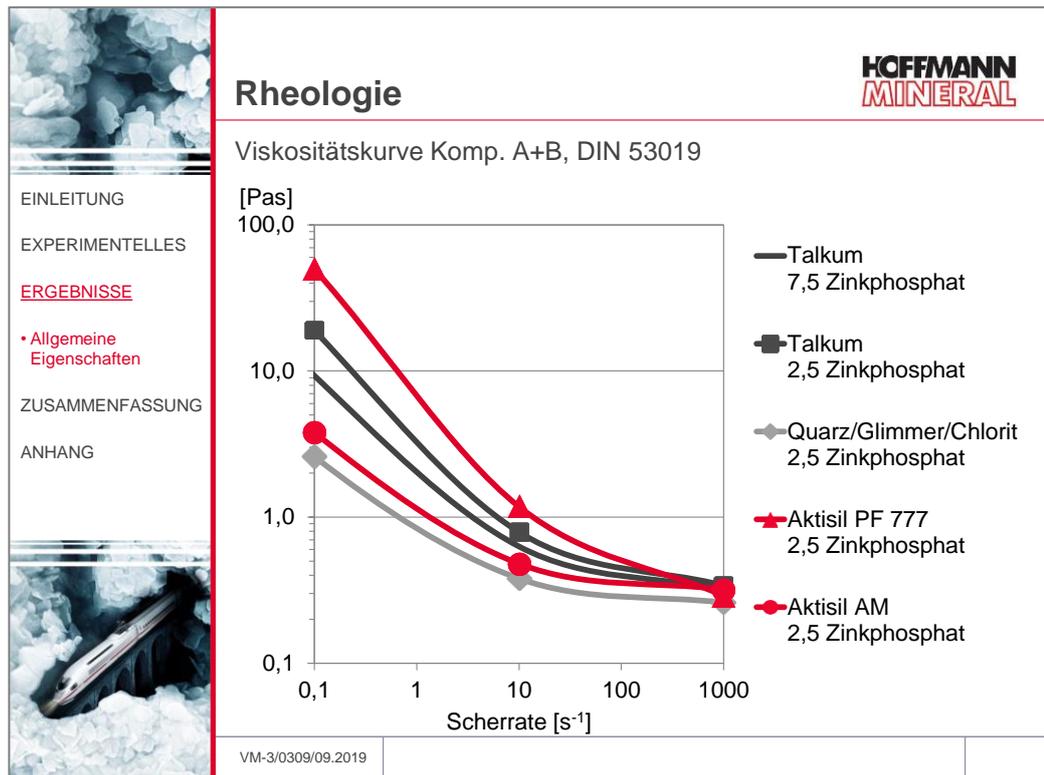
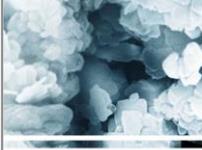


Abb. 7

Die rheologische Aktivität des Aktisil PF 777 äußert sich in stark scherverdünnendem, thixotropem Verhalten mit dem stärksten Strukturaufbau im niedrigen Scherbereich. Parallel hierzu bildet sich eine Fließgrenze aus. Als Folge dieses Verhaltens wird so die Ablaufneigung an vertikalen Beschichtungsbereichen, auch bei höheren Schichtdicken, minimiert. Bei eher geringen Schichtdicken lässt sich eine ausgeprägter strukturierte Oberfläche als mit Talkum feststellen (Abb. 8, s. Folgeseite).

Außerdem eröffnet dieser rheologische Effekt von Aktisil PF 777 die Möglichkeit, auf die als Rheologieadditiv eingesetzte Bentonitpaste zu verzichten.

Für höhere Anforderungen an die Filmoptik ist Aktisil AM vorzuziehen, womit gleich gute Verlaufseigenschaften wie mit Quarz/Glimmer/Chlorit erreicht werden.



EINLEITUNG

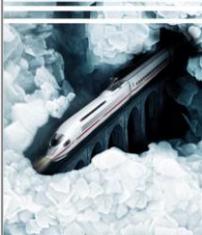
EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

• Allgemeine Eigenschaften

ZUSAMMENFASSUNG

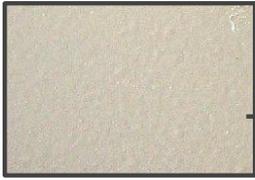
ANHANG



Verlauf



Trockenfilm



Talkum
7,5 Zinkphosphat




Talkum
2,5 Zinkphosphat

Quarz/Glimmer/Chlorit
2,5 Zinkphosphat




Aktisil PF 777
2,5 Zinkphosphat

Aktisil AM
2,5 Zinkphosphat

VM-3/0309/09.2019

Abb. 8

3.1.4 Beschichtungshärte

Die Entwicklung der Beschichtungshärte wurde mittels König-Pendel über einen Zeitraum von 14 Tagen verfolgt. Die Härte der Kontrollformulierung und die zinkphosphatreduzierte Variante mit Talkum liegen auf niedrigem Niveau (Abb. 9). Die Formulierungen mit Aktisil AM bzw. dem Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit lassen einen etwa vergleichbaren Härteverlauf mit geringen Vorteilen für den amino-funktionellen Füllstoff erkennen, wobei die Endhärte schon deutlich über dem Talkumvergleich liegt.

Auffällig ist der ungewöhnlich schnelle Härteaufbau bei Einsatz von Aktisil PF 777, der bereits nach 2 Tagen eine um bis zu 27 Sekunden höhere Pendelhärte erzielt. Auch die Endhärte liegt mit Aktisil PF 777 am höchsten. Somit sollten frisch beschichtete Objekte früher mechanischen Belastungen widerstehen können.

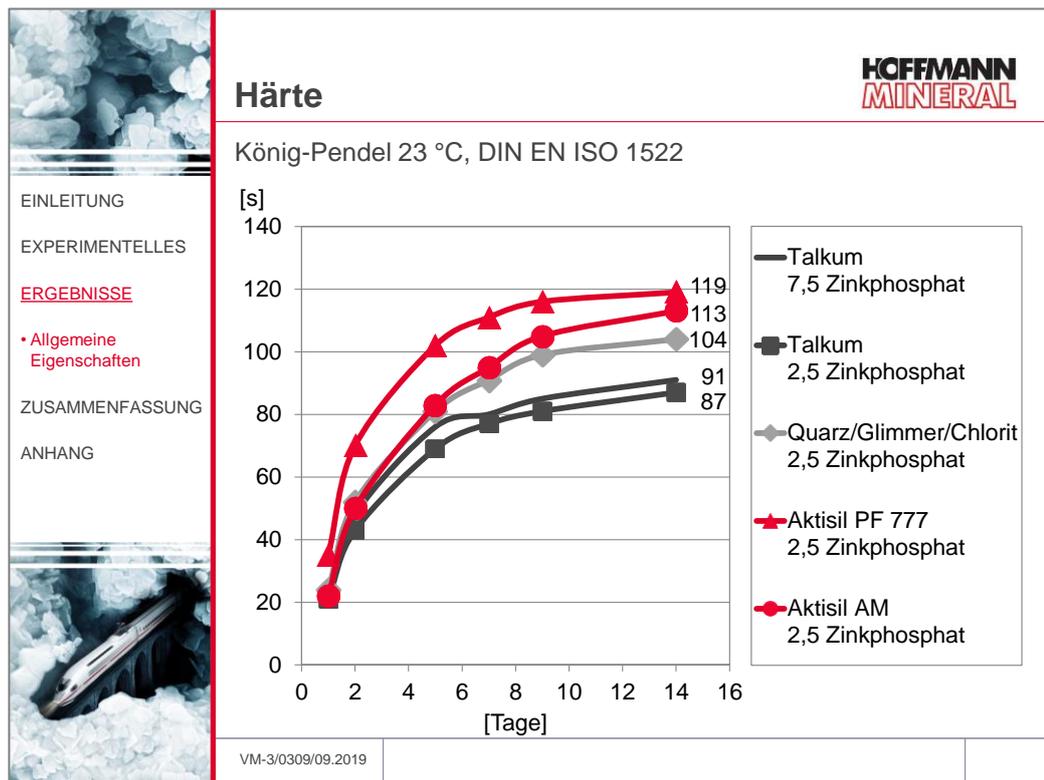


Abb. 9

3.2 Korrosionsschutz auf gestrahltem Stahl

3.2.1 Reduzierter Anteil Zinkphosphat

Vor Beginn der Belastungsprüfungen geben sich ausnahmslos alle Formulierungsvarianten durch hervorragende Substrathaftung mit Gitterschnittwerten von GT 0 zu erkennen.

Die sehr guten Beständigkeiten der Formulierungen nach 1000 h Kondenswassertest sind in *Abb. 10* exemplarisch an einem angeritzten Prüfblech dargestellt. Eine Beeinträchtigung der exzellenten Haftung als auch der weiteren Eigenschaften ist nicht feststellbar.



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

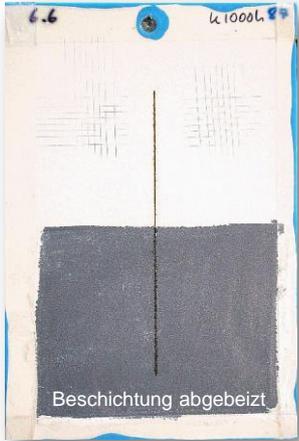
- Gestrahlter Stahl
- 2,5 Gew.-T. Zinkphosphat

ZUSAMMENFASSUNG

ANHANG



Kondenswassertest



Alle Formulierungen:

Fläche:

Haftung	GT 0
Blasengrad	0
Flächenkorrosion	0

Ritz:

Blasengrad	0
Enthaftung	0
Unterrostung	< 0.5 mm
Lochfraßtiefe	< 0.1 mm
Korrosionsintensität	sehr gering

→ exzellentes Ergebnis
(80 von 80 Punkten)

VM-3/0309/09.2019

Abb. 10

Stark korrosionsfördernde Umgebungsbedingungen, wie sie im Salzsprühtest simuliert werden, differenzieren die Leistungsfähigkeit der Formulierungen weitaus stärker. *Abb. 11* zeigt repräsentative Ergebnisse des Salzsprühtests der Rezepturen mit 2,5 Gewichtsteilen Zinkphosphat nach einer Belastungszeit von 1000 h. Die Kontrollrezeptur mit dem ursprünglichen Anteil Korrosionsschutzpigment ist vergleichend gegenübergestellt. Eine Reduzierung des Zinkphosphatanteils wirkt sich in der Formulierung mit Talkum ungünstig auf die Sperrwirkung in der Fläche aus. Trotz nur vereinzelt sichtbarer Blasen führen zahlreiche Schwachstellen zu lokal veränderten Hafteseigenschaften, wie nach Abbeizen der Beschichtung erkennbar werden. Die optisch dunkleren Bereiche ohne verbleibende Beschichtungsreste deuten auf eine verschlechterte Haftfestigkeit. Sie wirkt sich bei der Gitterschnittprüfung jedoch noch nicht negativ aus.

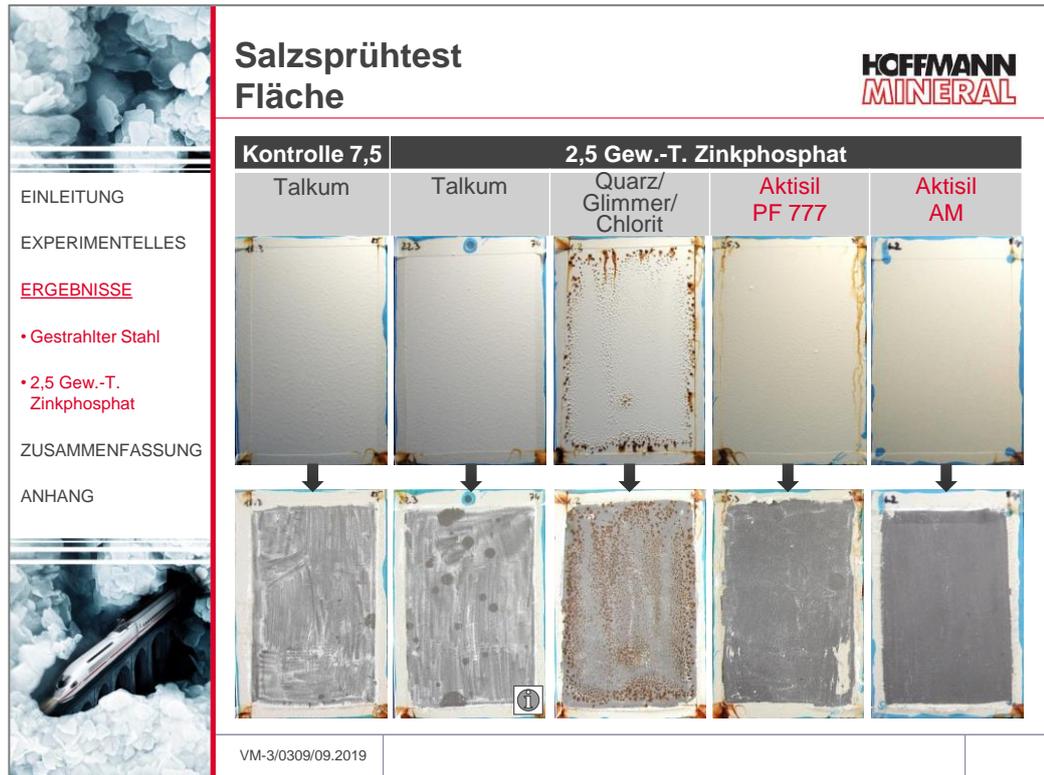


Abb. 11

Mit dem Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit tritt intensive Blasenbildung auf. Trotz des verbliebenen Zinkphosphatgehaltes zeichnen sich zahlreiche Rostdurchbrüche in der Beschichtung ab. Den völligen Verlust der Schutzfunktion in der Fläche zeigt der korrosive Angriff auf das darunter liegende Stahlsubstrat.

Neuburger Kieselerde erzielt demgegenüber ein ausgezeichnetes Resultat in der Fläche. Aktisil PF 777 und Aktisil AM verhindern nicht nur das Durchschlagen von Rost, sondern vermindern auch die Blasenbildung gegenüber der vergleichbaren Rezeptur mit Talkum. Besonders Aktisil AM fällt durch eine blasenfreie Beschichtungsoberfläche positiv auf und schützt die Fläche ähnlich gut wie die Kontrollrezeptur.

Am Ritz führt der verminderte Zinkphosphatanteil in der Formulierung mit Talkum zu verstärkter Bildung von Korrosionsprodukten. Der ausgeprägte Materialabtrag im unmittelbaren Verletzungsbereich spiegelt sich in großer Lochfraßtiefe wider. Hinsichtlich der Breite der Enthftung (Abb. 12, untere Reihe) und Korrosion verhält sich die Formulierung analog zur Kontrolle mit vollem Zinkphosphatanteil. Erste Rostdurchbrüche abseits der Verletzung lassen allerdings den beginnenden Verlust der grundlegenden Schutzwirkung in der Fläche erkennen.

Das natürliche Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit ist insgesamt als ungeeignet einzustufen.

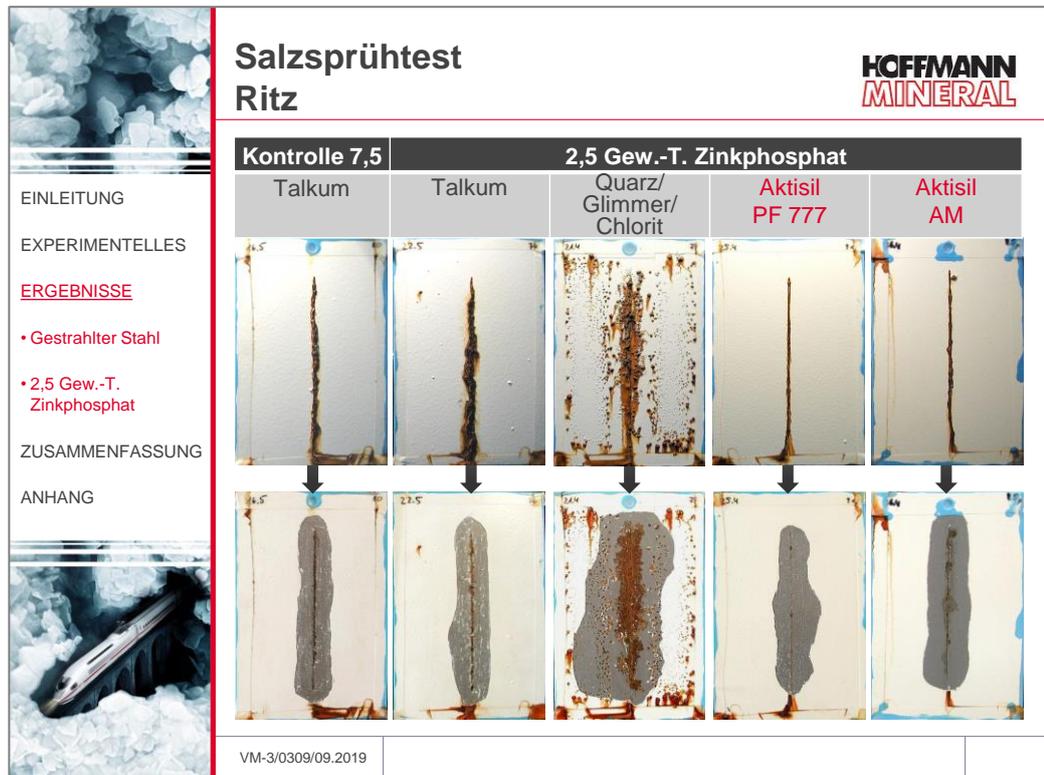


Abb. 12

Aktisil PF 777 und Aktisil AM ergeben hinsichtlich der Breite der Enthftung ein annähernd ebenso gutes Bild wie die Kontrollrezeptur und die Vergleichsrezeptur mit Talkum. Besonders vorteilhaft erweist sich die Neuburger Kieselerde jedoch gegenüber der Rostbildung am Ritz. Beide Varianten zeigen eine deutlich reduzierte Korrosionsintensität am Ritz in Form kaum feststellbarem Rostvolumen. (Abb. 12, obere Reihe). Die höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber der anodischen Eisenauflösung drängt die Korrosion am Ritz zurück. Dies zeigt sich auch nach Entfernen der Beschichtung anhand der merklich verminderten Unterrostungsbreite und der reduzierten Lochfraßtiefe (Abb. 12, untere Reihe). Insbesondere mit Aktisil PF 777 resultiert eine sehr hohe Beständigkeit wodurch trotz der Ritzverletzung eine optisch nahezu rostfreie Stahloberfläche erhalten wird. Kombiniert mit einem reduzierten Anteil Zinkphosphat wirkt Aktisil PF 777 damit synergistisch und übertrifft in der Schutzfunktion am Ritz sogar die Leistungsfähigkeit der Kontrollformulierung mit der hohen Zinkphosphatdosierung.

Die der Bewertung zugrunde liegenden Daten zeigt Abb. 13 auf der folgenden Seite. Die Gitterschnittprüfung belegt die sehr gute Hafffestigkeit aller Formulierungen 24 h nach Ende der Belastung.

3.2.2 Ohne Zinkphosphat

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Neuburger Kieselerde wurde das Korrosionsschutzpigment vollständig durch Füllstoff ersetzt.

Auch ohne Zinkphosphat ergibt sich auf gestrahltem Stahl ausnahmslos sehr gute Haftung und eine ausgezeichnete Kondenswasserbeständigkeit.

Merklich unterschiedlich zeigt sich die Leistungsfähigkeit der Füllstoffe nach Ende des Salzsprühtests. Mit Talkum sowie dem Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit ist eine starke Blasenbildung bereits in der Fläche feststellbar (Abb. 15). Die Rostdurchbrüche vorwiegend an Blasen belegen einen Mangel an aktiv wirkendem Pigment und führen zu starker Korrosion des Substrats. Während sie mit Quarz, Glimmer und Chlorit bereits intensiv fortgeschritten ist, zeigt sich mit Talkum noch ein Zwischenstadium mit Übergang von lokaler Enthftung zu punktuellen, aktiven Korrosionszellen.

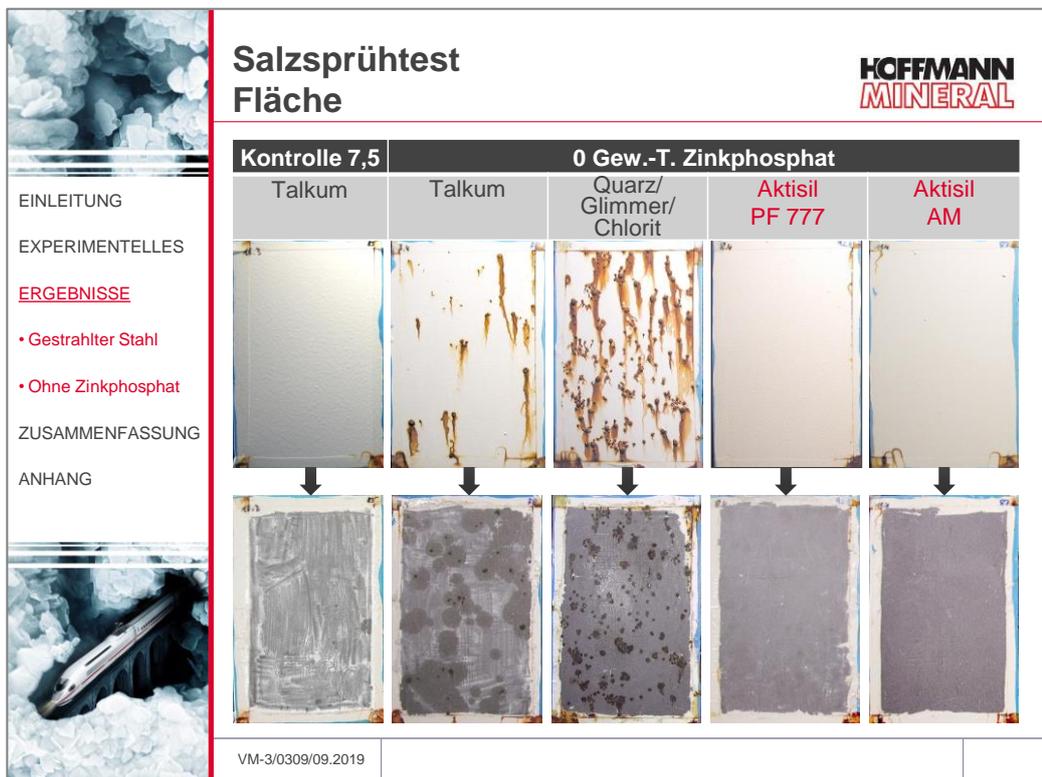


Abb. 15

Im Gegensatz dazu schützen Aktisil PF 777 und Aktisil AM hervorragend. Abgesehen von vereinzelt Blasen erzielen beide Aktisile ein defektfreies Ergebnis, sowohl im Film als auch darunter in Form einer korrosionsfreien Stahloberfläche.

Dieses Resultat entspricht weitgehend der Leistung der Kontrollformulierung mit Talkum und vollem Zinkphosphatgehalt.

Vollständiger Ersatz des Zinkphosphats durch Füllstoff verstärkt die Korrosionsneigung an der Ritzverletzung (Abb. 16). Der Effekt ist füllstoffspezifisch unterschiedlich ausgeprägt.

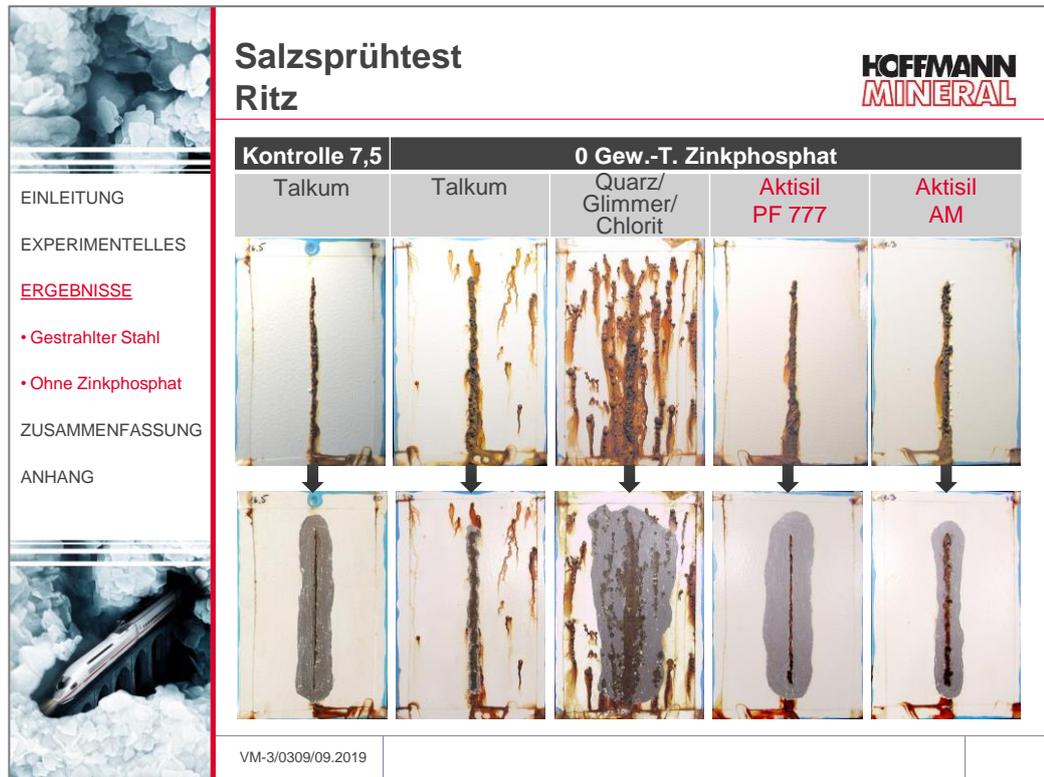


Abb. 16

Die Substitution durch Talkum bewirkt erheblich verminderte Enthftung bei überproportional starker Korrosion am Ritz. Mit dem Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit verschlechtert sich die Performance dramatisch. Auch beide Varianten mit Neuburger Kieselerde neigen auf den ersten Blick (obere Reihe) zu stärker ausgeprägter Rostbildung am Ritz. Nach Entfernung der Beschichtung an der Verletzungsstelle zeigen sich die Auswirkungen der unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen: Aktisil PF 777 liefert auch ohne ein aktiv wirkendes Pigment am Ritz eine geringere Korrosion als die Wettbewerbsfüllstoffe und das mit Abstand beste Ergebnis der zinkphosphatfreien Formulierungen. Aktisil AM ist bei geringerer Enthftungstendenz und stärkerer Korrosion hinsichtlich des Verhaltens am Ritz zwischen den beiden Varianten mit Talkum einzuordnen.

Die Haftfestigkeit der Beschichtungen erweist sich nach Belastungsende als grundsätzlich sehr gut, wird bei den Formulierungen mit Talkum bzw. dem Füllstoffgemisch jedoch durch die zunehmende Flächenkorrosion in Mitleidenschaft gezogen.

Abb. 17 listet die Einzelergebnisse auf.



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

- Gestrahlter Stahl
- Ohne Zinkphosphat

ZUSAMMENFASSUNG

ANHANG



Salzsprühtest Ergebnistabelle

**HOFFMANN
MINERAL**

		Kontrolle 7,5		0 Gew.-T. Zinkphosphat		
		Talkum	Talkum	Quarz/ Glimmer/ Chlorit	Aktisil PF 777	Aktisil AM
Fläche						
Haftung Gitterschnitt	[GT]	0	0/5	0/5	0	0
Blasengrad	Menge Größe	0	2 S3-4	3 S4	1 S2	1 S3
Flächen- korrosion	[%]	0	2	15	0	0
Ritz						
Blasengrad	Menge Größe	1 S4	1 S4	4 S4	1 S4	4 S4
Enthftung	[mm]	11	3	21	16	8
Unterrostung	[mm]	0,5	2,0	5,5	0,7	1,7
Lochfraßtiefe	[mm]	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
Korrosions- intensität	-	moderat	hoch	sehr hoch	moderat	moderat

VM-3/0309/09.2019

Abb. 17

Höhere Bewertungszahlen zeigen die deutlich besseren Eigenschaften der Formulierungen mit Neuburger Kieselerde in Abb. 18 an.

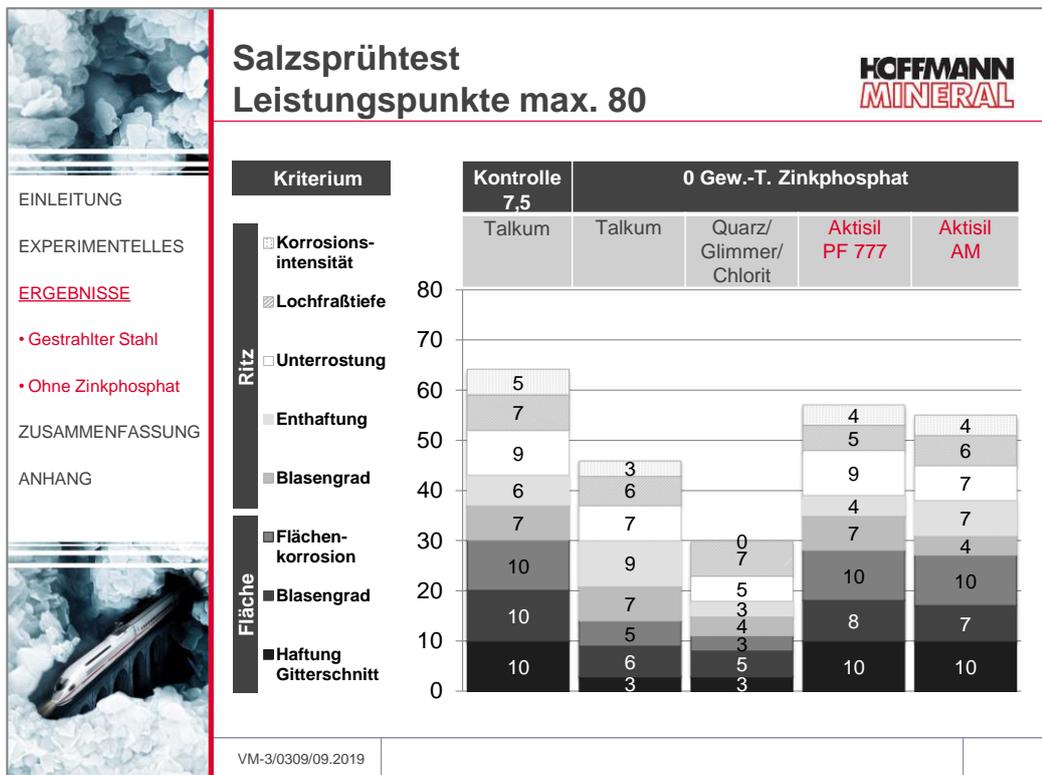


Abb. 18

3.3 Korrosionsschutz auf ungestrahltem Stahl

3.3.1 Reduzierter Anteil Zinkphosphat

Die zweite Versuchsreihe der vorliegenden Untersuchung beschäftigt sich mit dem Verhalten auf ungestrahltem Stahl. Dieser erweist sich durch die relativ glatte Oberfläche als sehr kritisch verglichen mit gestrahltem Substrat. Das Korrosionsschutzpigment wurde wieder partiell durch Füllstoff ersetzt.

Alle Formulierungen zeigen sehr gute Haftfestigkeit mit Gitterschnittkennwerten von GT 0 bzw. GT 1 (Variante mit Aktisil AM).

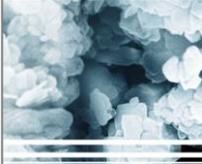
Im Verlauf der Kondenswasserbelastung kommt es zu merklicher Verschlechterung in der Haftfestigkeit aller Beschichtungen mit reduziertem Zinkphosphatanteil (Abb. 19). Die Formulierungen neigen zu Blasenbildung, insbesondere mit dem Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit.

Nur Aktisil PF 777 bietet ausreichenden Schutz in der Fläche auf dem Niveau der Kontrollrezeptur ohne Blasenbildung und ohne Korrosion des Untergrundes.



Abb. 19

Die Einbußen in der Haftfestigkeit gegenüber der Kontrollformulierung spiegeln sich bei Bewertung am Ritz in *Abb. 20* wider. Talkum und Aktisil PF 777 zeigen eine vergleichbare und nur moderate Verschlechterung der Enthftung. Mit dem Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit bzw. Aktisil AM ist die Beschichtung demgegenüber vollflächig vom Untergrund ablösbar. Die Bildung von Korrosionsprodukten an der Ritzverletzung ist insgesamt als sehr gering einzustufen.



Kondenswassertest Ritz



	Kontrolle 7,5	2,5 Gew.-T. Zinkphosphat			
	Talkum	Talkum	Quarz/ Glimmer/ Chlorit	Aktisil PF 777	Aktisil AM
EINLEITUNG EXPERIMENTELLES <b style="color: red;">ERGEBNISSE <ul style="list-style-type: none"> <li style="color: red;">• Ungestrahler Stahl ZUSAMMENFASSUNG ANHANG					
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin: 5px 0;"> ↓↓↓↓↓ </div> 				
	<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin: 0;"> VM-3/0309/09.2019 </div>				

Abb. 20

Die Daten und Bewertung der Kondenswasserbeständigkeit lassen sich Abb. 21/22 entnehmen.

		Kontrolle 7,5		2,5 Gew.-T. Zinkphosphat		
		Talkum	Talkum	Quarz/ Glimmer/ Chlorit	Aktisil PF 777	Aktisil AM
EINLEITUNG						
EXPERIMENTELLES						
ERGEBNISSE						
• Ungestrahelter Stahl						
ZUSAMMENFASSUNG						
ANHANG						
		Fläche				
Haftung Gitterschnitt	[GT]	2	5	5	4-5	5
Blasengrad	Menge Größe	0	2-3	4-5	0	2-3
		-	2	3	-	2
Flächenkorrosion	[%]	-	4	20	-	4
		Ritz				
Blasengrad	Menge Größe	2	2-3	3	1	3
		4	3	4	3-4	4
Enthftung	[mm]	3	7	> 40	7	> 40
Unterrostung	[mm]	0,4	0,6	0,8	0,4	0,8
Lochfraßtiefe	[mm]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Korrosionsintensität	-	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
VM-3/0309/09.2019						

Abb. 21

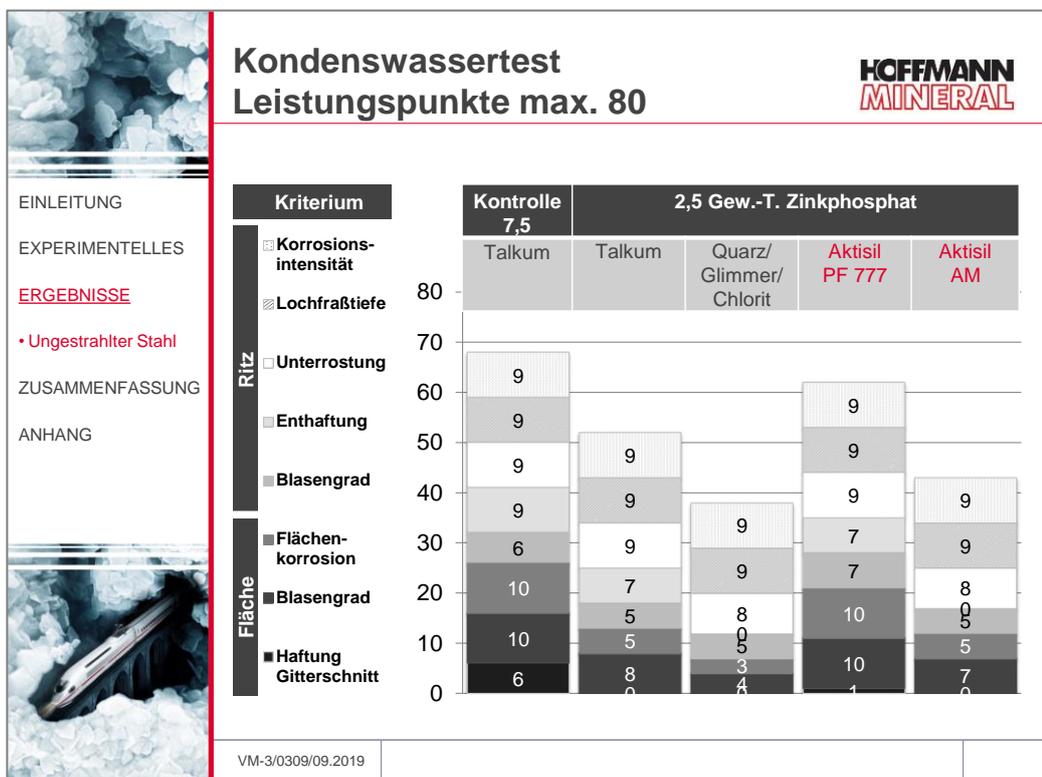
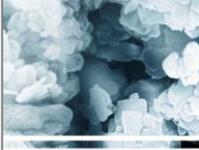


Abb. 22

Die Reduzierung der Zinkphosphatdosierung beeinflusst auch die Schutzeigenschaften der unverletzten Fläche nach Belastung im Salzsprühtest negativ.

Obwohl in der Beschichtung mit Talkum keine erkennbare Blasenbildung auftritt, demonstriert die Gitterschnittprüfung die Auswirkungen punktueller Schwachstellen im Lackfilm (Abb. 23). Im Vergleich zu gestrahltem Stahl wirkt sich der Effekt großflächiger aus und mindert durch den vollständigen Haftverlust bereits frühzeitig die mechanische Belastbarkeit der Beschichtung.



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

• Ungestrahlter Stahl

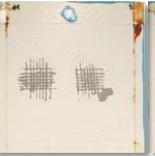
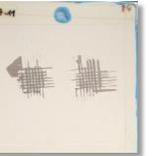
ZUSAMMENFASSUNG

ANHANG



Salzsprühtest Fläche

**HOFFMANN
MINERAL**

Kontrolle 7,5	2,5 Gew.-T. Zinkphosphat			
Talkum	Talkum	Quarz/ Glimmer/ Chlorit	Aktisil PF 777	Aktisil AM
				
↓	↓	↓	↓	↓
				

VM-3/0309/09.2019

Abb. 23

Das Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit führt zu intensiver Blasenbildung, schlechter Haftung und starker Korrosion des Substrats. Formulierungen mit Neuburger Kieselerde sind analog zu den Varianten mit Talkum in der Fläche blasen- und korrosionsfrei. Gegenüber der Kontrollrezeptur ist die Beschichtungshaftung zwar reduziert, der direkte Vergleich zur zinkphosphatreduzierten Variante mit Talkum ergibt aber sichtbar höhere Beständigkeit gegenüber flächigem Haftungsverlust.

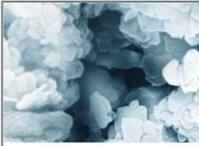
Der partielle Ersatz des Korrosionsschutzpigments wirkt sich mit Talkum oder dem Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit durch intensivere Blasenbildung an der Ritzverletzung aus. Vorteilhafter verhalten sich hier die Vertreter der Neuburger Kieselserde (Abb. 24). Speziell mit Aktisil PF 777 wird nicht nur der Blasenbildung am Ritz vorgebeugt, sondern auch die Korrosionsintensität sichtbar reduziert.

	Salzsprühtest Ritz				
	Kontrolle 7,5		2,5 Gew.-T. Zinkphosphat		
	Talkum	Talkum	Quarz/ Glimmer/ Chlorit	Aktisil PF 777	Aktisil AM
EINLEITUNG					
EXPERIMENTELLES					
<u>ERGEBNISSE</u>					
• Ungestrahler Stahl					
ZUSAMMENFASSUNG					
ANHANG					
	VM-3/0309/09.2019				

Abb. 24

Mit Ausnahme der Kontrollrezeptur und der Formulierung mit Aktisil AM sind die Beschichtungen mechanisch leicht und vollflächig bis zum Rand des Substrats ablösbar. Die ausgesprochen starke Korrosionsneigung der Kontrollrezeptur am Ritz kann vermieden werden, wenn ein reduzierter Anteil Korrosionsschutzpigment kombiniert mit Talkum oder Neuburger Kieselserde eingesetzt wird.

Die Variante mit dem Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit wirkt sich vergleichend deutlich negativ aus und fällt in der Bewertungsübersicht (Abb. 25/26) entsprechend stark zurück.



EINLEITUNG

EXPERIMENTELLES

ERGEBNISSE

• Ungestrahelter Stahl

ZUSAMMENFASSUNG

ANHANG



Salzsprühtest Ergebnistabelle

**HOFFMANN
MINERAL**

		Kontrolle 7,5		2,5 Gew.-T. Zinkphosphat		
		Talkum	Talkum	Quarz/ Glimmer/ Chlorit	Aktisil PF 777	Aktisil AM
Fläche						
Haftung Gitterschnitt	[GT]	0	0/5	5	4	4
Blasengrad	Menge Größe	0	0	5	0	0
		-	-	3-4	-	-
Flächen- korrosion	[%]	0	0	70	0	0
Ritz						
Blasengrad	Menge Größe	2	3	5	0	1
		2	5	5	-	3
Enthftung	[mm]	25	> 40	> 40	> 40	30
Unterrostung	[mm]	4	0,5	21	1	0,7
Lochfraßtiefe	[mm]	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4
Korrosions- intensität	-	hoch	hoch	hoch	moderat	hoch

VM-3/0309/09.2019

Abb. 25

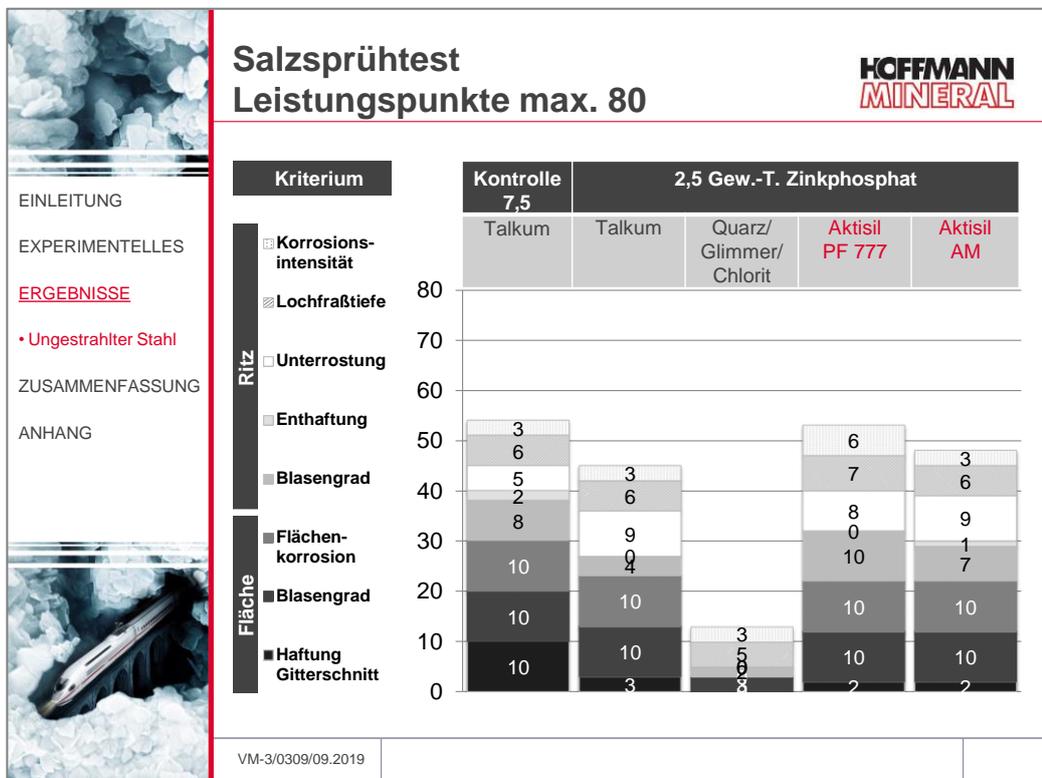


Abb. 26

Gegenüber den Ergebnissen auf gestrahltem Substrat ergibt sich insgesamt gesehen eine deutlich geringere Leistungsfähigkeit der Formulierungen auf ungestrahltem Stahl. Abb. 27/28 stellen den Verlust an Leistungsfähigkeit nochmals heraus. Für die Kontrollrezeptur geht mit dem Substratwechsel eine deutliche Verschlechterung des Korrosionsschutzes an der Ritzverletzung einher. Für die Formulierungen mit reduziertem Anteil Zinkphosphat sind als markanteste Veränderungen die Verluste in der Haftfestigkeit zu nennen.

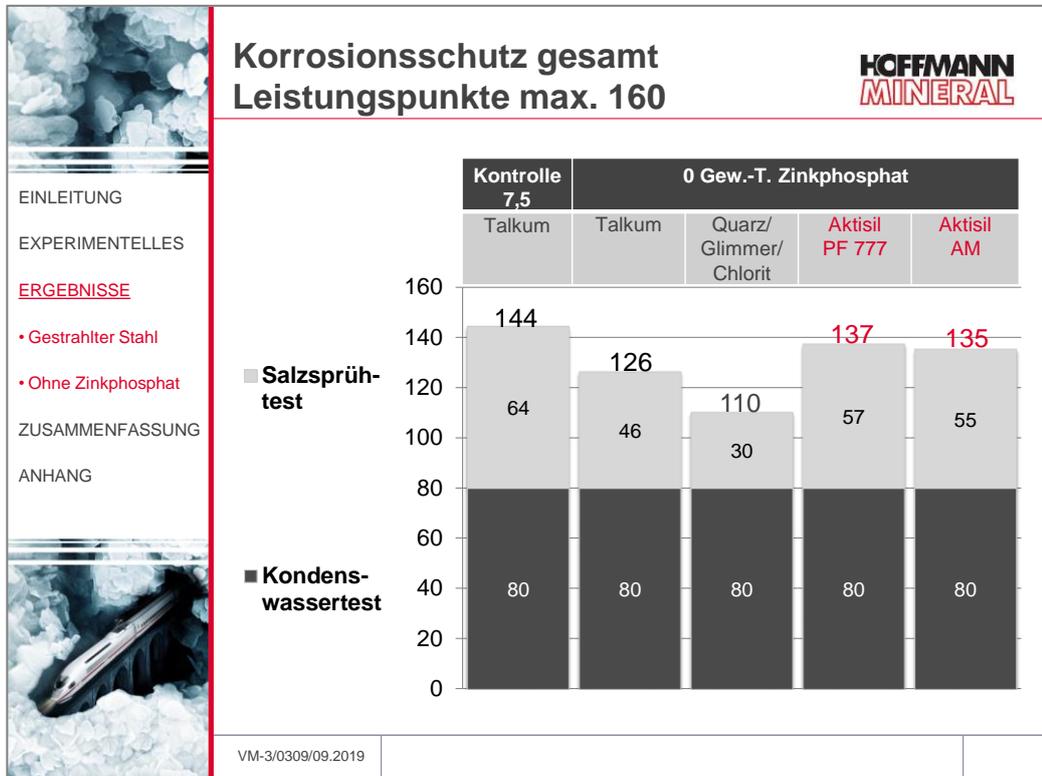


Abb. 27 gestrahlter Stahl

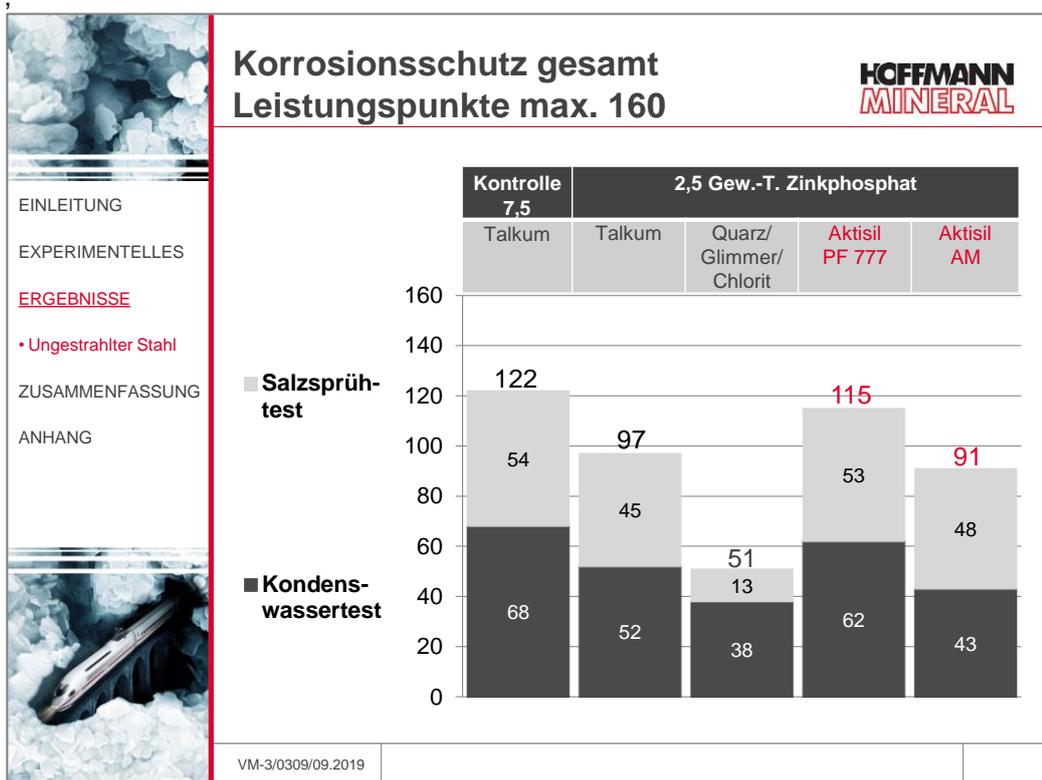


Abb. 28 ungestrahlter Stahl

3.3.2 Einsatz von Aminosilan

Die Verwendung eines Alkoxysilans geeigneter Funktionalität als Haftvermittlers kann sich auf ungestrahltem Stahl als sehr hilfreich erweisen. Nach Zugabe eines geringen Anteils Aminosilan zum Härter wird sowohl vor als auch nach Ende der Korrosionsschutztests ausnahmslos ausgezeichnete Haftung vorgefunden.

Die Leistungsfähigkeit der Formulierungen mit Aminosilan übertrifft das gute Niveau der Kontrollrezeptur im Kondenswassertest deutlich wie in *Abb. 29/30* ersichtlich ist. Blasenbildung und Flächenkorrosion treten nicht auf, Enthaftungserscheinungen am Ritz sind praktisch nicht nachweisbar.

Das Füllstoffgemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit wurde in dieser Versuchsserie nicht geprüft, da die Gesamtpformance innerhalb der vorangegangenen Untersuchungen unbefriedigend ausfiel.

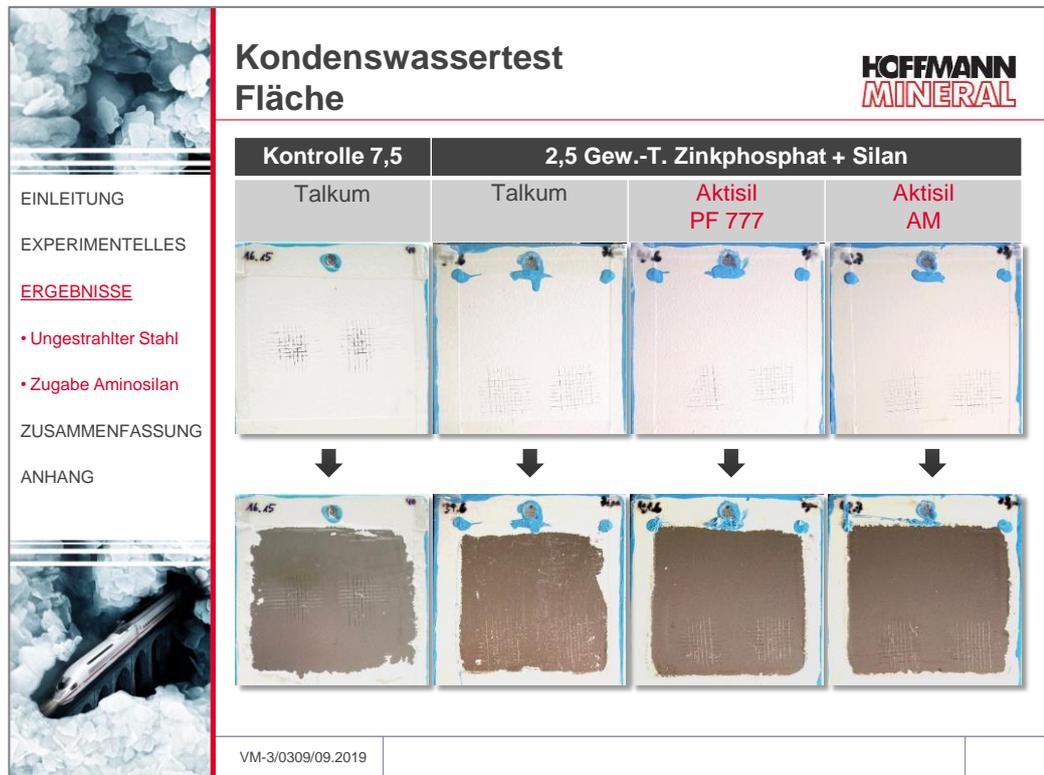
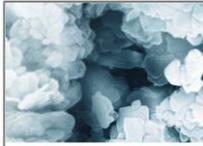


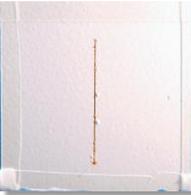
Abb. 29



Kondenswassertest Ritz

**HOFFMANN
MINERAL**

EINLEITUNG
EXPERIMENTELLES
ERGEBNISSE
• Ungestrahelter Stahl
• Zugabe Aminosilan
ZUSAMMENFASSUNG
ANHANG

Kontrolle 7,5	2,5 Gew.-T. Zinkphosphat + Silan		
Talkum	Talkum	Aktisil PF 777	Aktisil AM
			
↓	↓	↓	↓
			

VM-3/0309/09.2019

Abb. 30

Abb. 31/32 geben die zugrunde liegenden Daten und das Bewertungsprofil wieder.

		Kontrolle 7,5		2,5 Gew.-T. Zinkphosphat + Silan	
		Talkum		Talkum	Aktisil PF 777
EINLEITUNG					
EXPERIMENTELLES					
ERGEBNISSE					
• Ungestrahelter Stahl					
• Zugabe Aminosilan					
ZUSAMMENFASSUNG					
ANHANG					
Fläche					
Haftung Gitterschnitt	[GT]	2	0	0	0
Blasengrad	Menge Größe	0 -	0 -	0 -	0 -
Flächenkorrosion	[%]	0	0	0	0
Ritz					
Blasengrad	Menge Größe	2 4	1 3	0 -	1 2
Enthftung	[mm]	3	0,5	0,5	0,8
Unterrostung	[mm]	0,4	0,1	0,1	0,4
Lochfraßtiefte	[mm]	0,1	0,1	0,1	0,1
Korrosionsintensität	-	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering

VM-3/0309/09.2019

Abb. 31

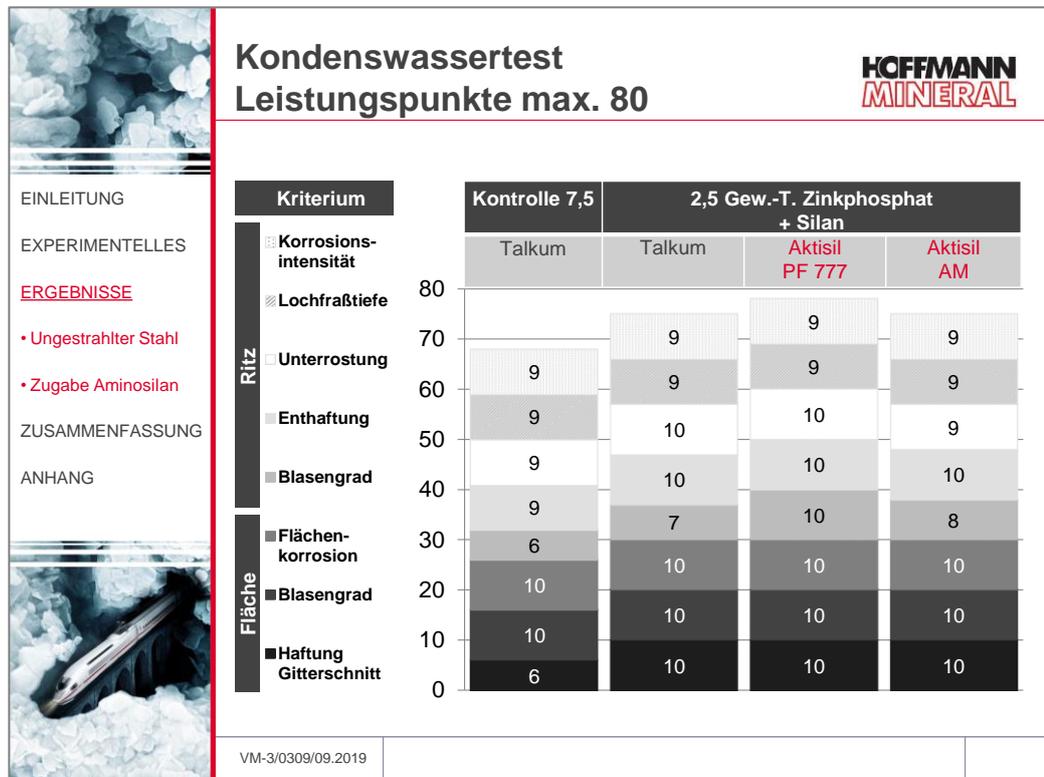


Abb. 32

Während sich gegenüber Talkum mit Aktisil PF 777 die Möglichkeit zur Verminderung der Enthftung am Ritz bietet, wirkt sich die Kombination von Aktisil AM mit Aminosilan besonders vorteilhaft aus. Blasenbildung und Korrosionsintensität werden an der Ritzverletzung sichtbar zurückgedrängt und der Enthftungsbereich nochmals deutlich reduziert. *Abb. 35* und *36* fassen die Einzelergebnisse als auch das Leistungsvermögen zusammen.

		Kontrolle 7,5		2,5 Gew.-T. Zinkphosphat + Silan	
		Talkum	Talkum	Aktisil PF 777	Aktisil AM
Fläche					
Haftung Gitterschnitt	[GT]	0	0	0	0
Blasengrad	Menge	0	1-2	1	0-1
	Größe	-	5	4	2-3
Flächenkorrosion	[%]	0	0,2	0	0
Ritz					
Blasengrad	Menge	2	4	3	1
	Größe	2	4	4	3
Enthftung	[mm]	25	15	12	8
Unterrostung	[mm]	4	1,3	1,3	1,3
Lochfraßtiefe	[mm]	0,4	0,5	0,3	0,3
Korrosionsintensität	-	hoch	hoch	hoch	moderat

VM-3/0309/09.2019

Abb. 35

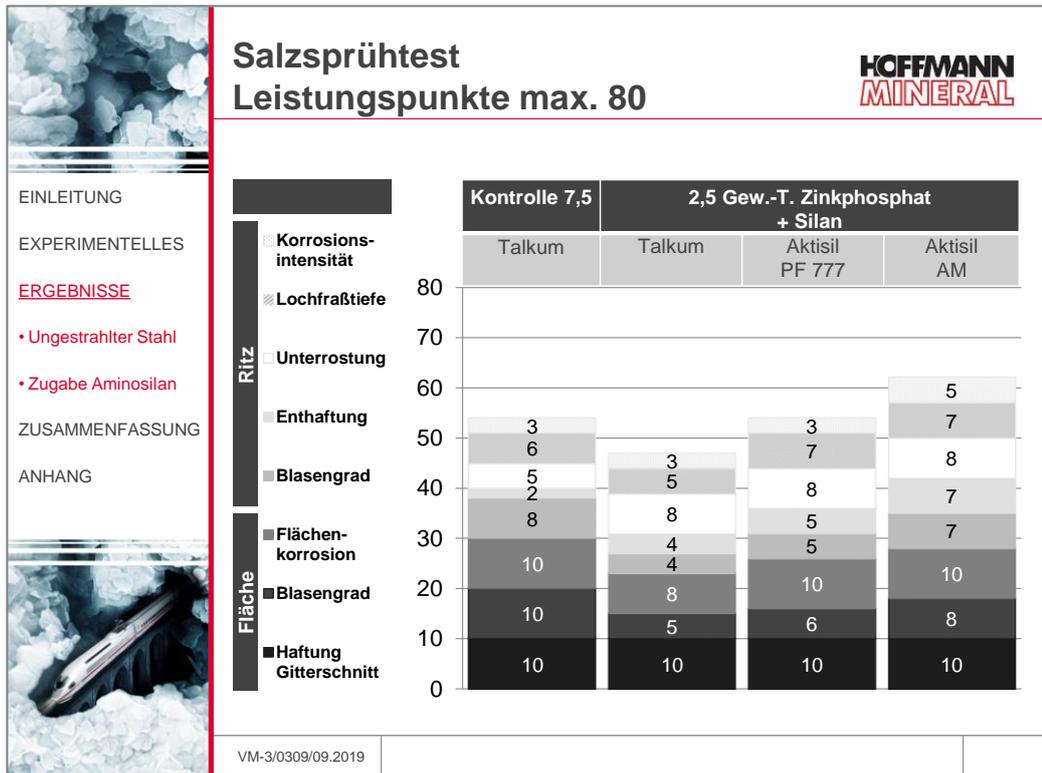


Abb. 36

Am Beispiel der Formulierung mit Talkum wird deutlich, dass sich der additive Einsatz eines Haftvermittlers nicht zwingend positiv auf alle Prüfmerkmale auswirken muss. Vermehrte Blasenbildung und Korrosion in der Fläche können dem Effekt der verbesserten Haftfestigkeit entgegenstehen. Die geringere Performance im Salzsprüh-test bewirkt in der Gesamtbewertung gemäß *Abb. 37* dadurch nur ein Niveau vergleichbar zur Kontrollrezeptur.

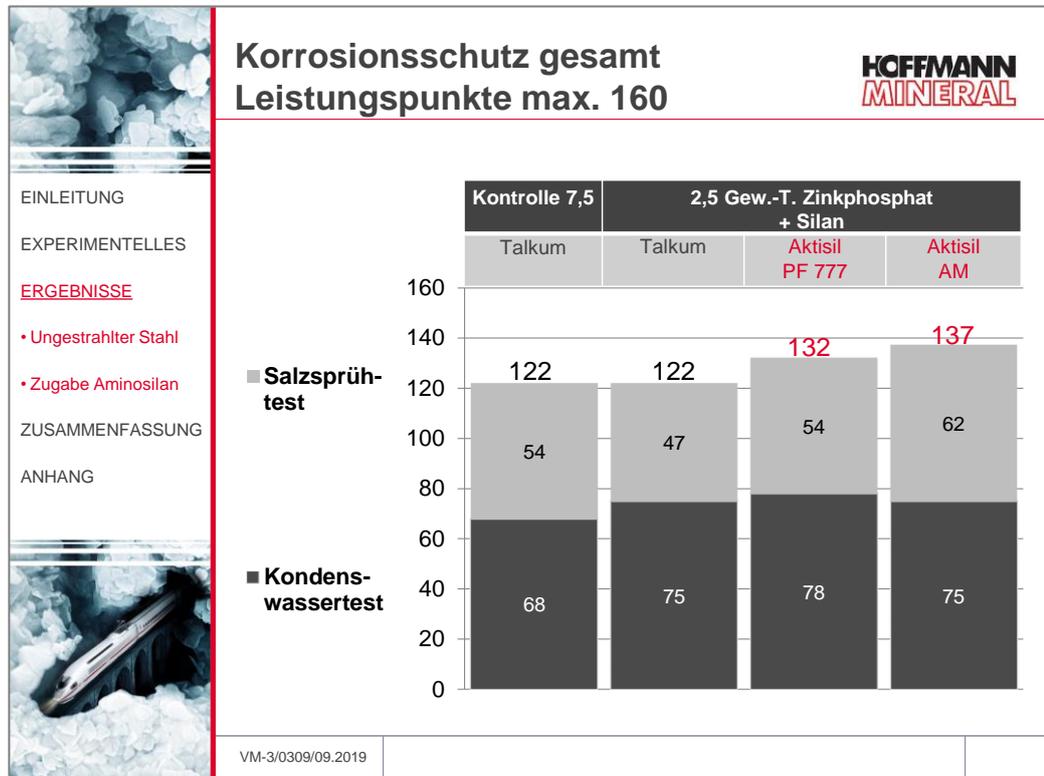


Abb. 37

Nutzbare Vorteile zeigen sich erst in Gegenwart von Neuburger Kieselerde. Durch Kombination mit Aktisil PF 777 oder vorzugsweise Aktisil AM ergibt sich die gewünschte Leistungssteigerung über das Niveau der Kontrollrezeptur hinaus. Damit ist selbst bei reduziertem Anteil Zinkphosphat hervorragender Korrosionsschutz auf haftkritischem Substrat möglich.

Für eine Optimierung der Schutzwirkung ist der Anteil des Haftvermittlers auf die spezifische Rezeptur abzustimmen; in dieser Formulierung wäre knapp unter 1% ein Optimum zu erwarten.

In weiterführenden Versuchen konnte die positive Wirkung der Neuburger Kieselerde auf ungestrahltem Stahl auch in Formulierungen ohne Korrosionsschutzpigment bestätigt werden. Gegenüber den untersuchten Wettbewerbsfüllstoffen bieten Aktisil PF 777 und Aktisil AM hervorragenden Schutz in der Fläche. Für Anwendungen auf ungestrahltem Stahl erscheint ein vollständiger Verzicht auf Zinkphosphat allerdings prinzipiell nicht sinnvoll, da nach einer mechanischen Verletzung die Korrosionserscheinungen überproportional stark zunehmen und die Leistungsfähigkeit des Beschichtungssystems reduzieren.

4 Zusammenfassung

Die mit einer Reduzierung des Anteils Zinkphosphat einhergehende verminderte Schutzfunktion lässt sich im vorliegenden Beschichtungssystem nicht durch klassische Füllstoffe wie Talkum oder ein Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit ausgleichen:

- auf gestrahltem Stahl manifestiert sich der Leistungsabfall primär im Salzsprühtest anhand zunehmender Korrosionsintensität am Ritz und einem frühzeitigen Versagen der Schutzwirkung in der Fläche.
- auf ungestrahltem Stahl ist die mangelnde Haftfestigkeit als Ursache schlechter Korrosionsschutzeigenschaften sowohl bei reiner Kondenswasserbelastung als auch stark ionischer Beanspruchung (Salzsprühnebel) anzusehen.

Erst oberflächenmodifizierte Füllstoffe wie Aktisil PF 777 und Aktisil AM bieten:

- hohe Korrosionsschutzwirkung bereits im Einschichtaufbau
 - » auf gestrahltem Stahl mit reduziertem Anteil bzw. sogar ohne Zinkphosphat
 - » auf ungestrahltem Stahl in Kombination mit Aminosilan und einem reduzierten Anteil Zinkphosphat
 - » basierend auf
 - ausgezeichneter Haftung
 - exzellenter Kondenswasserbeständigkeit
 - hervorragender Beständigkeit gegenüber Salzsprühnebel
- bessere Performance verglichen mit Talkum oder einem natürlichen Gemisch aus Quarz, Glimmer und Chlorit
- kombiniert mit einem geringen Anteil Zinkphosphat vergleichbare Leistungsfähigkeit gegenüber gebräuchlichen Standardsystemen mit klassischen Füllstoffen und hoher Dosierung Korrosionsschutzpigment

Als besondere Eigenschaften der Neuburger Kieselerde-Typen sind zu nennen:

- Aktisil PF 777
 - » hydrophob
 - » rheologisch aktiv, für Dickschichtanwendungen geeignet
 - » frühzeitig hohe Härteentwicklung
 - » sehr hohe Schutzwirkung gegenüber Korrosion am Ritz auf gestrahltem Stahl
 - » sehr hohe Schutzwirkung gegenüber Blasenbildung und Korrosion in der Fläche
- Aktisil AM
 - » sehr guter Verlauf
 - » hohe Wirksamkeit gegenüber Korrosion am Ritz auf gestrahltem Stahl
 - » hohe Wirksamkeit gegenüber Blasenbildung und Korrosion in der Fläche
 - » kombiniert mit Aminosilan synergetischer Effekt mit Folge exzellenter Haftfestigkeit und ausgezeichnetem Korrosionsschutz auf ungestrahltem Stahl

Rezepturempfehlungen zur Formulierung mit Neuburger Kieselerde können *Abb. 38* entnommen werden.

		HOFFMANN MINERAL					
Rezepturempfehlungen							
		[1] Gew.- T.	[2] Gew.- T.	[3] Gew.- T.			
EINLEITUNG EXPERIMENTELLES ERGEBNISSE <u>ZUSAMMENFASSUNG</u> ANHANG		[1], [2] vorzugsweise auf gestrahltem Stahl [3] speziell auf ungestrahltem Stahl oder haftkritischem Substrat					
	A	Epikote 1001 x 75	Epoxidfestharz auf Basis Bisphenol A, 75 %ig in Xylol, EEW 633	23,8	23,8	23,8	
		Bentone 34, Gel	Rheologieadditiv, 10 %ig in Xylol / Ethanol 87:3	0 - 4,3	4,3	4,3	
		Xylol	Lösungsmittel	6,5	6,5	6,5	
		Ethylglykol	Lösungsmittel	4,7	4,7	4,7	
		MIBK	Lösungsmittel, Methylisobutylketon	6,6	6,6	6,6	
		Nusa 57	Netz- und Dispergieradditiv	0,4	0,4	0,4	
		BYK-354	Verlaufsadditiv	0,8	0,8	0,8	
		Sachtleben RD3	Titandioxid	5,9	5,9	5,9	
		Zinkphosphat	Korrosionsschutzpigment	2,5	2,5	2,5	
		Aktisil PF 777	Neuburger Kieselerde	21,3	-	-	
		Aktisil AM	Neuburger Kieselerde	-	21,3	21,3	
		Blanc fixe	Bariumsulfat gefällt	7,8	7,8	7,8	
		B	Versamid 115 x 70	Polyamidharz, 70 %ig in Xylol, HEW 283	12,7	12,7	12,7
			Dynasylan AMEO	Aminosilan	-	-	< 1,0
		Summe		97,3	97,3	98,3	
		Feststoffgehalt m/m	[%]	67,1	67,1	67,4	
		Pigmentvolumenkonzentration (PVK)	[%]	33,8	33,8	33,8	
		Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	[g/l]	430	430	425	
		VM-3/0309/09.2019					

Abb. 38

Unsere anwendungstechnische Beratung und die Informationen in dieser Broschüre beruhen auf Erfahrung und erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, gelten jedoch nur als unverbindlicher Hinweis ohne jede Garantie. Außerhalb unseres Einflusses liegende Arbeits- und Einsatzbedingungen schließen einen Anspruch aus der Anwendung unserer Daten und Empfehlungen aus. Außerdem können wir keinerlei Verantwortung für Patentverletzungen übernehmen, die möglicherweise aus der Anwendung unserer Angaben resultieren.