HOFFMANN MINERAL
Unternehmensgruppe Hoffmann

Neuburger Kieselerde

in 2K-Polyaspartic-

Korrosionsschutzbeschichtungen

Verfasser: Hubert Oggermüller
Bodo Essen

VM-1/0510/10.2019

HOFFMANN MINERAL GmbH · Münchener Straße 75 · D-86633 Neuburg (Donau) · Telefon 08431 53-0
www.hoffmann-mineral.com · E-Mail: info@hoffmann-mineral.com

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Zielstellung

2 Experimentelles

2.1 Basisrezeptur
2.2 Füllstoffe
2.3 Versuchsplan
2.4 Herstellung, Applikation und Konditionierung

3 Ergebnisse

3.1 Herstellbarkeit
3.2 Lagerstabilität
3.3 Rheologie
3.4 Korrosionsschutz auf gestrahltem Substrat
3.5 Korrosionsschutz auf ungestrahltem Substrat
3.6 Optimierung der Salzsprühnebel- und Kondenswasserbeständigkeit

4 Weitere Eigenschaften

4.1 Auswirkung der Optimierung auf die Topfzeit
4.2 Trocknungsverhalten
4.3 Abrieb
4.4 Glanz
4.5 Farbe
4.6 Deckvermögen

5 Zusammenfassung

1 Einleitung und Zielstellung

Funktionelle Füllstoffe verbessern die anwendungstechnischen Eigenschaften von Farben und Lacken und haben daher einen festen Platz als Bestandteil vieler Korrosionsschutzformulierungen. Höhere Umweltschutzanforderungen gerade an lösemittelhaltige Formulierungen haben in den letzten Jahren zu einer intensiven Weiterentwicklung konventioneller Schutzsysteme geführt, die bisher meist aus einer Kombination Grund-/ Deckbeschichtung und optional zusätzlicher Zwischenschicht bestehen. Ein derartiger Mehrschichtaufbau ist notwendig, um dauerhaften Korrosionsschutz auch bei widrigen äußeren Bedingungen zu gewährleisten, steht jedoch zunehmend einem Wunsch nach effizienteren und kostengünstigeren Beschichtungstechnologien entgegen. Hier bieten Polyasparticbeschichtungen einen ersten Lösungsansatz.

Polyasparticbeschichtungen weisen ein 2K-PUR analoges Vernetzungsprinzip auf. Jedoch reagiert statt einer klassischen Polyolkomponente ein sterisch gehindertes aliphatisches Amin (Asparaginsäureester) mit einem aliphatischen Isocyanat unter Ausbildung eines Polyharnstoffnetzwerkes. Beschichtungen dieses Typs ermöglichen gegenüber konventionellen lösemittelhaltigen 2K-PUR-Systemen u.a. folgende Vorteile*:

- Geringerer VOC-Gehalt
- Längere Verarbeitungsdauer
- Kürzere Trocknungszeiten
- Blasenfreie Applikation in höherer Schichtdicke
- Bessere Witterungsbeständigkeit

** Quelle: Bayer MaterialScience*

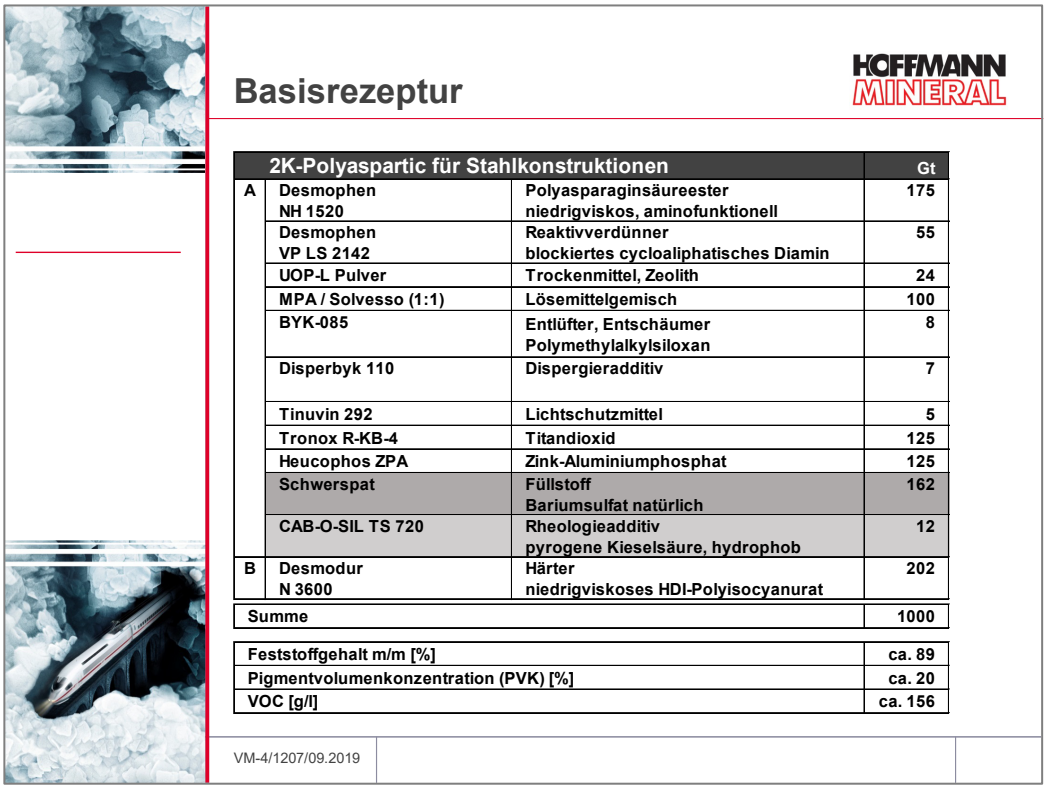
Im Korrosionsschutz bisher vorwiegend als Deckbeschichtung in Kombination mit 1K-PU-Grundierungen eingesetzt, finden Polyasparticbeschichtungen nun auch zunehmend Anwendung als reiner, direkt auf die Metalloberfläche applizierbarer Einschichter.

Ziel des vorliegenden Berichtes ist die Bewertung der Effekte von Neuburger Kieselerde auf die Leistungsfähigkeit einer derartigen Polyaspartic-Korrosionsschutzbeschichtung anhand gängiger Korrosionsschutzprüfungen sowie optischer, mechanischer und rheologischer Untersuchungen. Als Referenz dienen die im Korrosionsschutz etablierten Füllstoffe Schwerspat, Talkum und Wollastonit. Im Hauptfokus standen eine geeignete Füllstoffauswahl und Füllstoffdosierung. Zusätzliche Ansätze zur Optimierung sollten unter Berücksichtigung der eingesetzten Additive herausgestellt werden.

2 Experimentelles

2.1 Basisrezeptur

Der Aufbau der zugrundeliegenden Formulierung der Fa. Bayer MaterialScience AG mit einem Zinkaluminiumphosphat als aktivem Korrosionsschutzpigment ist *Abb. 1* zu entnehmen. Ein hoher Feststoffgehalt von 89 Massen % und ein VOC-Gehalt von ca. 156 g/l weist den stark lösemittelreduzierten Status der Formulierung aus. Auf den Einsatz des in der vorliegenden Rezeptur enthaltenen Rheologieadditivs wurde für die weiteren Untersuchungen gezielt verzichtet, um insbesondere die rheologischen Effekte der Füllstoffe klarer herauszuheben.



Basisrezeptur

HOFFMANN MINERAL

	2K-Polyaspartic für Stahlkonstruktionen		Gt
A	Desmophen NH 1520	Polyasparaginsäureester niedrigviskos, aminofunktionell	175
	Desmophen VP LS 2142	Reaktivverdünner blockiertes cycloaliphatisches Diamin	55
	UOP-L Pulver	Trockenmittel, Zeolith	24
	MPA / Solvesso (1:1)	Lösemittelgemisch	100
	BYK-085	Entlüfter, Entschäumer Polymethylalkylsiloxan	8
	Disperbyk 110	Dispergieradditiv	7
	Tinuvin 292	Lichtschutzmittel	5
	Tronox R-KB-4	Titandioxid	125
	Heucophos ZPA	Zink-Aluminiumphosphat	125
	Schwerspat	Füllstoff Bariumsulfat natürlich	162
	CAB-O-SIL TS 720	Rheologieadditiv pyrogene Kieselsäure, hydrophob	12
B	Desmodur N 3600	Härter niedrigviskoses HDI-Polyisocyanurat	202
	Summe		1000

Feststoffgehalt m/m [%]	ca. 89
Pigmentvolumenkonzentration (PVK) [%]	ca. 20
VOC [g/l]	ca. 156

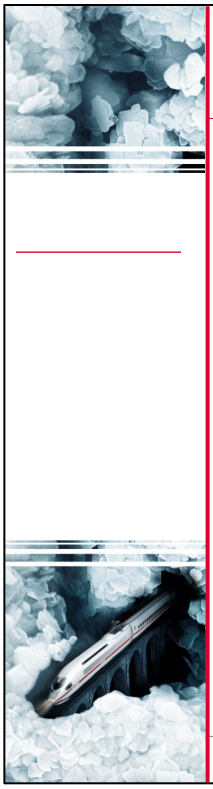
VM-4/1207/09.2019

Abb. 1

2.2 Füllstoffe

Abb. 2 gibt eine Übersicht der untersuchten Füllstoffe ausgehend von Schwerspat, der in der Formulierung als Referenzfüllstoff eingesetzt ist. Als Vergleich dient eine handelsübliche Talkum- bzw. Wollastonit-Type. Als Vertreter der Neuburger Kieselerde werden Sillitin Z 86 und Aktisil PF 777 herangezogen; in Einzelfällen sind die Prüfergebnisse weiterer Typen der Neuburger Kieselerde aufgeführt.

Neben unbehandelten Füllstoffen enthält das Testprogramm zwei modifizierte Typen, bei denen durch Funktionalisierung der Füllstoffoberfläche die Wechselwirkungen zur Polymermatrix gezielt eingestellt sind: Aktisil PF 777 stellt eine alkyl-funktionalisierte hydrophob modifizierte Variante der Neuburger Kieselerde auf Basis Sillitin Z 86 dar, während der Wollastonit einer Oberflächenbehandlung mit Aminosilan unterzogen ist.



Füllstoffe

HOFFMANN MINERAL

Eigenschaften

Füllstoff	Morphologie	Korngröße [µm]		Spez. Oberfläche	Ölzahl	Dichte	Oberflächenmodifizierung
		d_{50}	d_{97}	[m²/g]	[g/100g]	[g/cm³]	
Schwerspat	korpuskular	2,9	14	1	14	4,2	-
Talkum	lamellar	6,8	18	5	45	2,8	-
Sillitin Z 86	korpuskular / lamellar	1,8	8	12	50	2,6	-
Aktisil PF 777	korpuskular / lamellar	1,8	8	8	35	2,6	alkyl-funktionalisiert, hydrophob
Wollastonit	blockig / nadelförmig	3,5	13	4	26	2,8	Aminosilan

VM-4/1207/09.2019

Abb. 2

Alle Ergebnisse wurden bei Hoffmann Mineral ermittelt und sind direkt vergleichbar. Für Talkum ergibt die Analyse die größte mittlere Korngröße, wobei die Aussagekraft wegen der ausgeprägten Lamellarität des Füllstoffes als eingeschränkt zu betrachten ist. Bariumsulfat, Wollastonit und besonders Neuburger Kieselerde weisen höhere Feinteiligkeit auf. Die hohe Dichte des Schwerspates führt zusammen mit der kompakten Kornform zu geringer Ölzahl und spezifischer Oberfläche. Neuburger Kieselerde besitzt eine deutlich höhere Oberfläche als die Referenzfüllstoffe. Ölzahl und Dichte liegen im Bereich des Talkums.

Schwerspat zeigt als natürlich vorkommende Form des Bariumsulfats vereinfacht korpuskulare Kornform. Das Magnesiumsilikathydrat Talkum zeichnet sich durch ausgeprägt blättchenförmige, lamellare Primärteilchen aus, während das Kalziumsilikat Wollastonit durch eine blockig-nadelige Struktur geprägt ist. Die besondere morphologische Zusammensetzung der Neuburger Kieselerde veranschaulicht eine REM-Aufnahme in *Abb. 3*. Neuburger Kieselerde, die nahe Neuburg an der Donau abgebaut wird, ist ein in der Natur entstandenes Gemisch aus korpuskularer Neuburger 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.

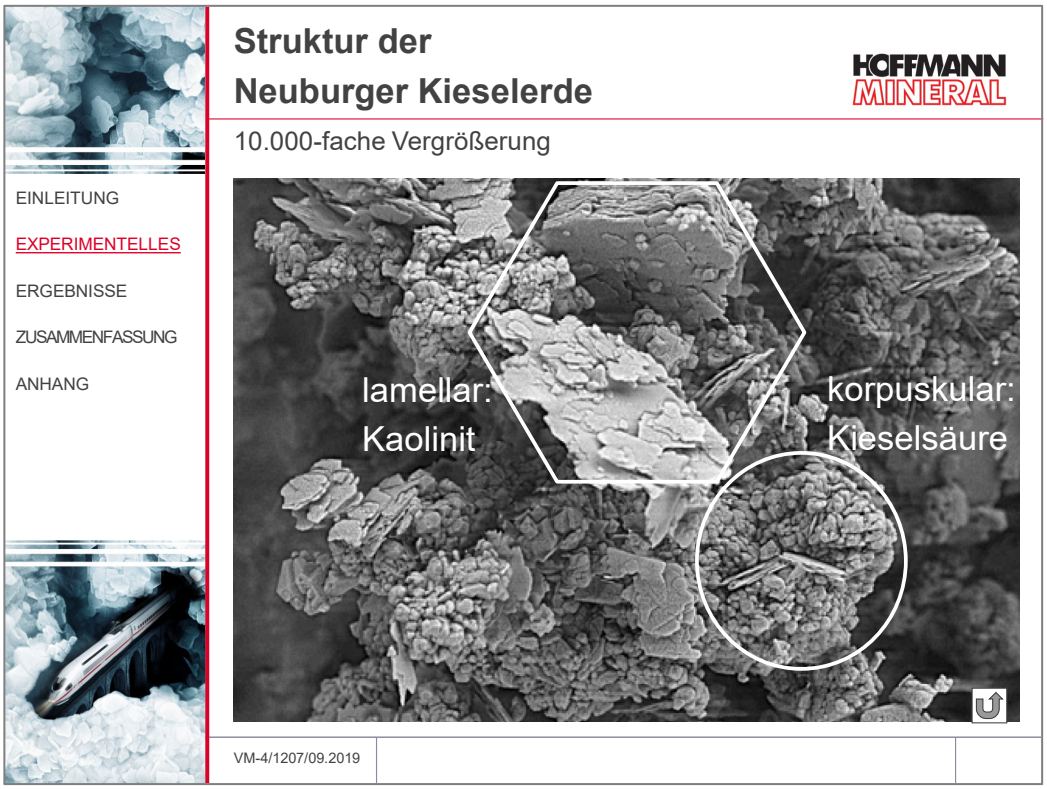


Abb. 3

2.3 Versuchsplan

Unter Verzicht auf den Einsatz des Rheologieadditivs erfolgte der Füllstoffaustausch nach zwei grundsätzlichen Varianten.

In einem ersten Schritt wurde der Füllstoff gewichtsgleich ausgetauscht. Aufgrund der unterschiedlichen spezifischen Füllstoffdichten ergibt sich in der Formulierung mit Schwerspat eine PVK von 20 %; bei Einsatz von Talkum bzw. Neuburger Kieselerde eine PVK von 23 %. Wollastonit wurde in dieser Variante nicht geprüft. In Vorversuchen ergaben sich abgesehen von rheologischen Effekten allerdings generell nur moderate Korrosionsschutzeigenschaften und nur geringfügige Füllstoffeinflüsse.

Der Füllstoffanteil wurde daher angehoben. Der ursprüngliche Schwerspatanteil von 162 GT wurde zunächst bis zu einer PVK von 30 % erhöht (502 GT) und der Füllstoff anschließend volumengleich ersetzt (*Abb. 4*).

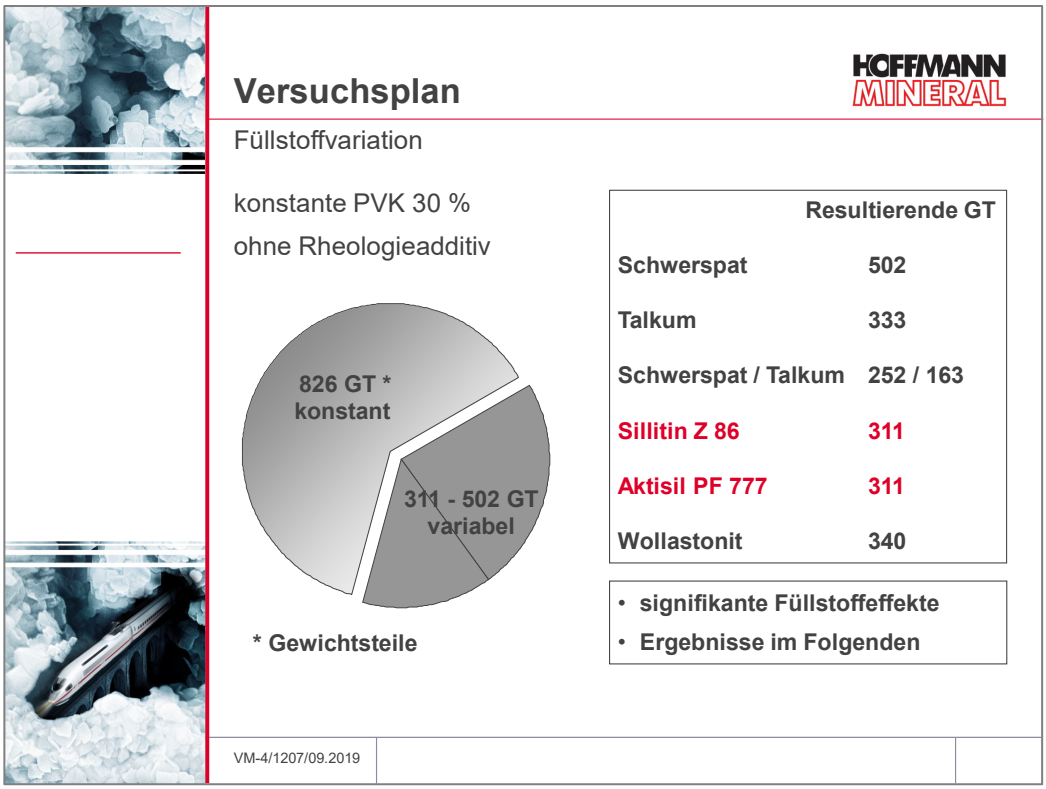


Abb. 4

Neben einer Variante mit purem Talkum wurde die im Korrosionsschutz häufig verwendete Kombination von Talkum und Schwerspat im Volumenverhältnis 1: 1 geprüft. Wie in der Abbildung erkennbar, benötigt die Einstellung der einheitlichen PVK unterschiedliche Dosierungsmengen. Abgesehen vom Füllstoff bleiben alle anderen Formulierungsbestandteile in ihrer Einwaage unangetastet. Die Formulierungen mit einer PVK von 30 % ergaben in den Vortests teils signifikante füllstoffabhängige Unterschiede und bilden die Grundlage für die Ergebnisse des vorliegenden Berichtes.

2.4 Herstellung, Applikation und Konditionierung

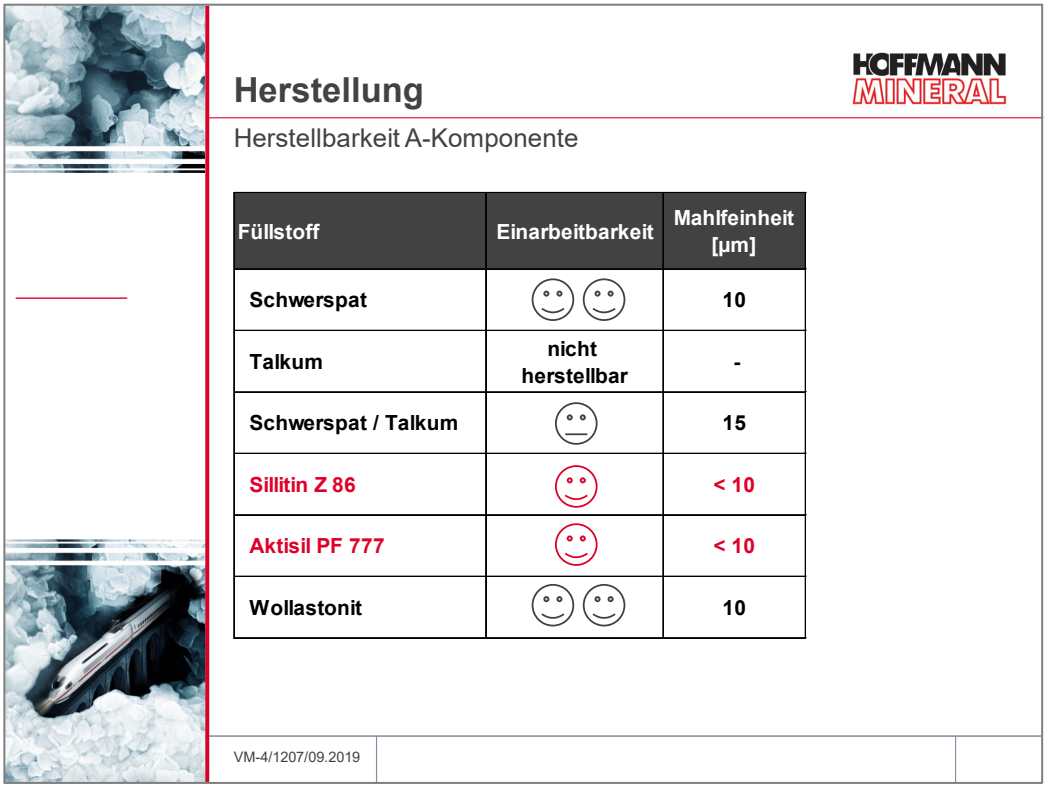
Die Herstellung der Formulierungen erfolgte in einem Labordissolver mit Rührwerkskugelmühlenvorrichtung unter Wasserkühlung. Die Dispergierzeit betrug 20 min. unter Einsatz von Glasperlen als Mahlmedium. Das Lichtschutzmittel und die Hälfte des Lösungsmittels bzw. des Entlüfters sind erst nach der Anreibung langsam einzuarbeiten. Nach Zugabe des Härters wurde der Nasslack einschichtig auf SA 2 ½ vorbehandelten korundgestrahlten Stahl bzw. auf kaltgewalzte glatte Stahlbleche vom Typ Q-Panel R-48 mittels Druckluftspritzen (4 bar, 1,2 mm-Düse) appliziert. Zur Prüfung des Abriebs kamen spezielle Taberbleche aus DC04 Flachstahl der Größe 10 x 10 cm mit Mittellochbohrung zum Einsatz. Anschließend erfolgte die Lagerung bei 23 °C und 50 % Luftfeuchte über einen Zeitraum von 14 Tagen. Die Trockenschichtdicke betrug ca. 120 µm.

3 Ergebnisse

3.1 Herstellbarkeit

Mit Ausnahme von Talkum lassen sich alle Füllstoffe gut bis sehr gut in die Bindemittelmatrix einarbeiten (*Abb.5*). Trotz der etwas günstigeren Bedingungen für Schwerspat und Wollastonit sind die höchsten Mahlfeinheiten durch Grindometer-bestimmung nach DIN EN ISO 1524 mit Neuburger Kieselerde erreichbar.

Die Variante mit purem Talkum ist nicht herstellbar, da bei Füllstoffeinarbeitung zu starker Viskositätsanstieg zu Lasten einer ausreichenden Mischgutumwälzung erfolgt. Zur Dosierung der vollständigen Füllstoffmenge wäre der doppelte Dispergiermittelanteil und ein hinsichtlich der VOC-Bilanz ungünstiger mindestens 50 % höherer Lösemittelanteil notwendig. Bereits in der Kombination mit Schwerspat wirkt sich der Talkumanteil negativ auf Einarbeitbarkeit und resultierende Mahlfeinheit aus.



Herstellung

HOFFMANN MINERAL

Herstellbarkeit A-Komponente

Füllstoff	Einarbeitbarkeit	Mahlfeinheit [µm]
Schwerspat	☺ ☺	10
Talkum	nicht herstellbar	-
Schwerspat / Talkum	😐	15
Sillitin Z 86	☺	< 10
Aktisil PF 777	☺	< 10
Wollastonit	☺ ☺	10

VM-4/1207/09.2019

Abb. 5

3.2 Lagerstabilität

Abb.6 gibt einen Überblick über die für 28 Tage bei 50°C in geschlossenem Gebinde gelagerten zugehörigen A-Komponenten der Formulierung. Mit Ausnahme der Neuburger Kieselerde führen alle Vergleichsvarianten zu starker und sehr zäher Bodensatzbildung mit nur eingeschränkter Aufrührbarkeit.

Die geringe Sedimentationsneigung der Neuburger Kieselerde wirkt der Bodensatzbildung effektiv entgegen und gestattet schnelle Homogenisierbarkeit des Ansatzes.

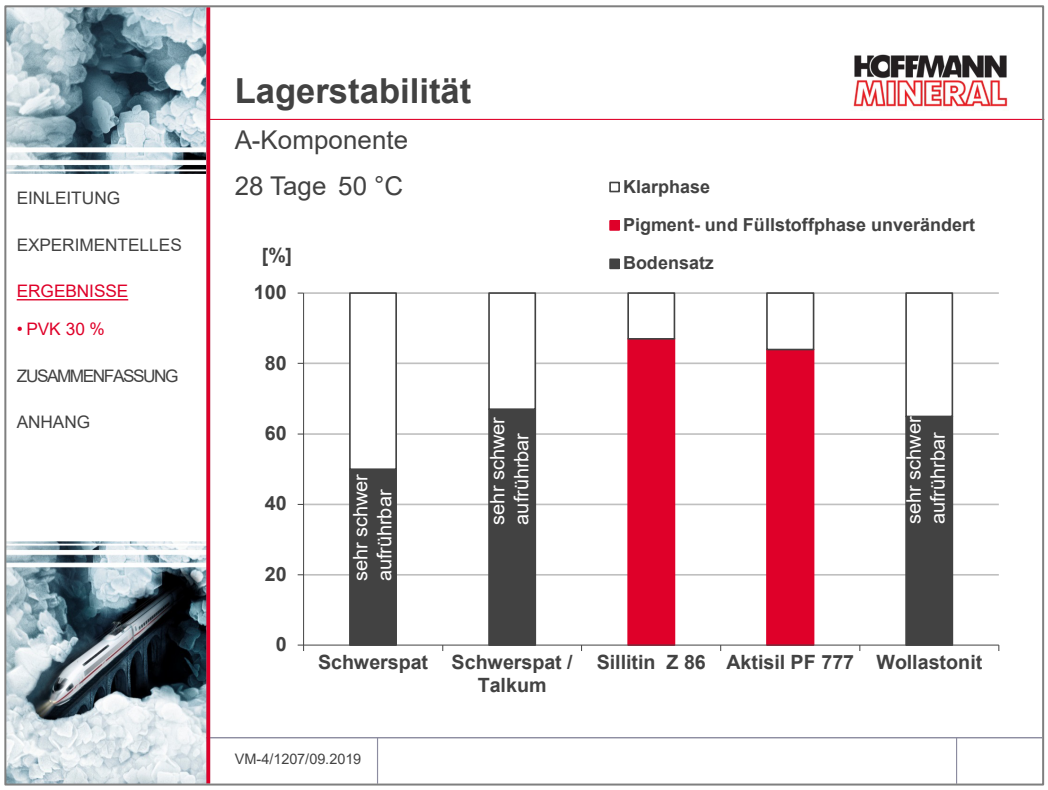


Abb. 6

3.3 Rheologie

Die rheologische Charakterisierung der Proben erfolgte in einem Zylinder-Messsystem eines MCR300 - Rheometers unter Rotationsbedingungen angelehnt an DIN 53019. Die Eigenschaften des Flüssiglackes werden gemäß *Abb. 7* merklich von der Art des verwendeten Füllstoffes beeinflusst. Strukturviskoses Verhalten ist vorteilhaft für die Applikationsfähigkeit hoher Schichtdicken. Ein derartiges Verhalten ist bei Vorliegen lamellarer Füllstoffanteile wie bei Talkum und Sillitin Z 86 erzielbar. Mit Aktisil PF 777 ist der Effekt besonders ausgeprägt.

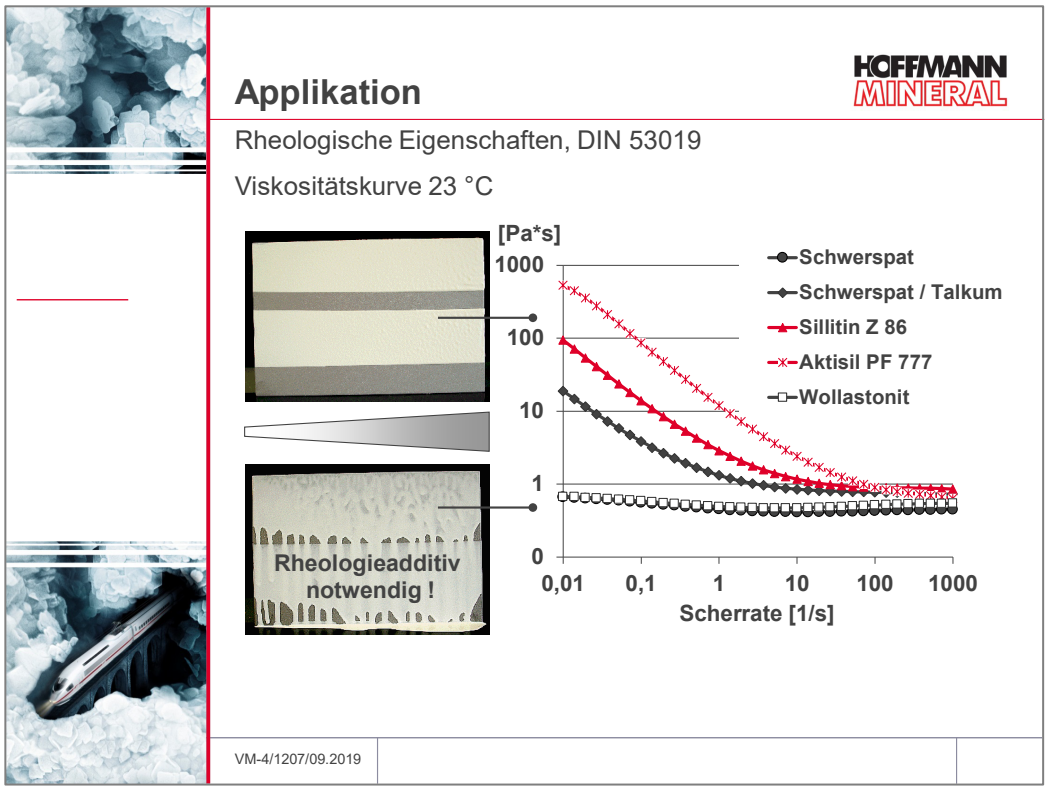


Abb. 7

Sofern Schwerspat oder Wollastonit als Füllstoff Verwendung finden, ist zum Erreichen vergleichbarer Eigenschaften der Einsatz eines zusätzlichen Rheologieadditivs zwingend notwendig, insbesondere auch zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden Lagerstabilität.

3.4 Korrosionsschutz auf gestrahltem Substrat

Zur Beurteilung des Korrosionsschutzverhaltens wurde ein Salzsprühtest gemäß DIN EN ISO 9227 bzw. ein Kondenswassertest nach DIN EN ISO 6270-2 CH durchgeführt. Die Bewertung des Schadensbildes erfolgte jeweils gemäß ISO 4628.

Als Substrat dienten korundgestrahlte Prüfbleche aus unlegiertem, kaltgewalztem Stahl mit den Abmessungen 150 x 100 x 2 mm. Entsprechend DIN EN ISO 12944 (Korrosionsschutz für Stahlbauten durch Beschichtungssysteme) Teil 6 betrug der Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 1/2 bei einer Oberflächenrauheit „mittel (G)“.Die raue Oberfläche entspricht dem Bild, das sich dem Applikateur bei Instandsetzungsarbeiten in der Praxis nach Entfernung einer Altbeschichtung durch Sandstrahlen bietet.

Wie in *Abb. 8* beispielhaft angeführt, zeigen die auf gestrahlten Stahl applizierten Formulierungen vor Belastung sehr gute Substrathaftung mit Gitterschnittkennwerten von 0 bis 1.

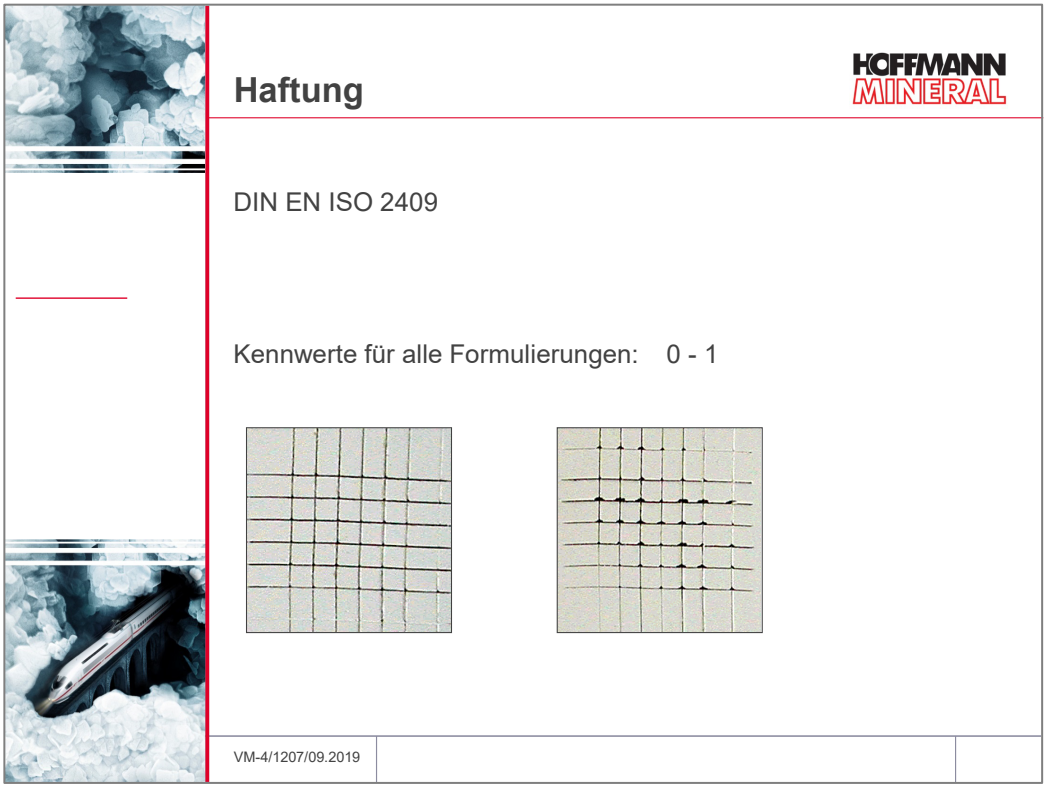


Abb. 8

Nach Durchführung der Korrosionsschutztests ist grundsätzlich kein Effekt auf die guten Haftwerte feststellbar. Einschränkend ist die Formulierung mit purem Schwerspat zu sehen. Die Auswertung der Gitterschnittprüfung nach Kondenswasserbelastung wird durch starke Blasenbildung gestört und führt zu einem schlechten Resultat. Während in *Abb. 9* nach Abbeizen eine stark korrodierte Substratoberfläche resultiert, verhindert bei allen anderen getesteten Füllstoffvarianten ein defektfreier Beschichtungsfilm die Untergrundkorrosion.

Abb. 9

Abb. 10 gibt eine repräsentative und vergleichende Übersicht zur Schutzwirkung an einer vor Belastung definiert angebrachten Ritzverletzung. In Folge der Korrosion kommt es wegen des gleichzeitig ablaufenden kathodischen Teilprozesses zu Enthaftungserscheinungen. Der freigelegte Metallbereich beidseits des Ritzes entspricht dieser enthafteten Fläche, die mit einem Messer in flachem Winkel leicht freigelegt werden kann und scharf begrenzt ist.

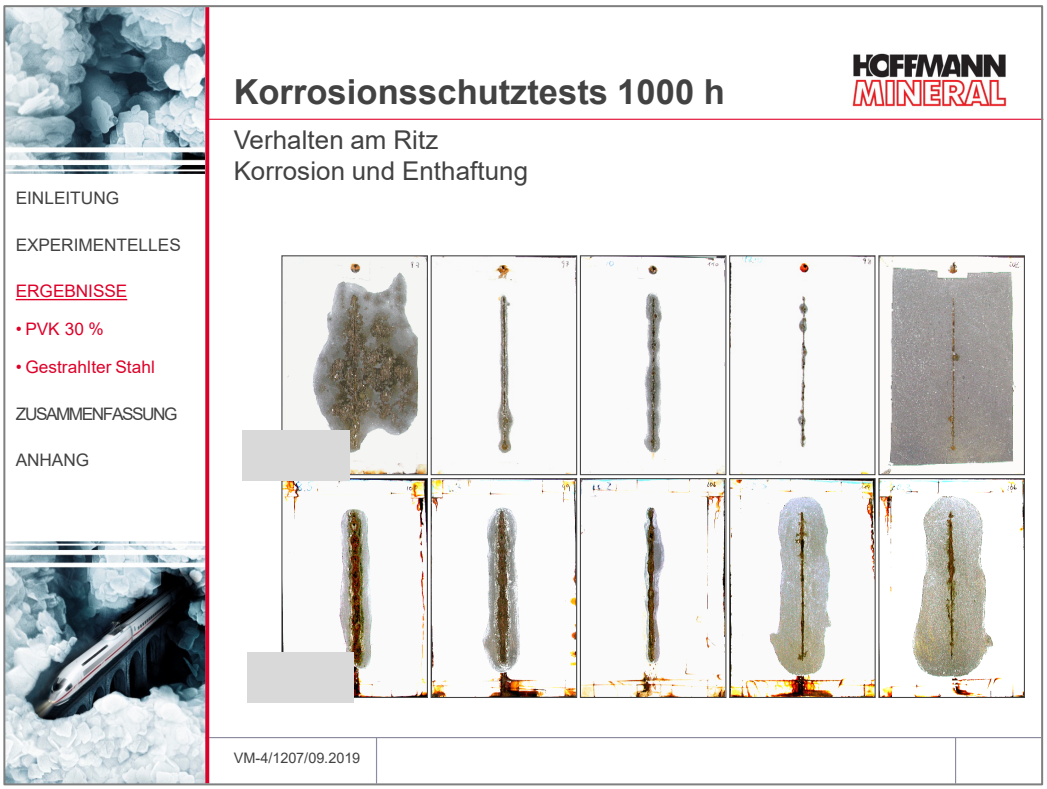


Abb. 10

Im Kondenswassertest ist eine sichere Bewertung der Rostbildung am Ritz bei Einsatz von Schwerspat pur infolge der starken Flächenkorrosion nicht möglich. Die Formulierung mit Wollastonit neigt nur zu geringer Rostbildung am Ritz, weist aber eine vollflächige Enthaftung auf. Vergleichend zu Schwerspat und Wollastonit bieten eine Füllstoffkombination Talkum / Schwerspat bzw. die Neuburger Kieselerden sehr guten Korrosionsschutz bei nur geringer Enthaftungstendenz. Speziell mit Aktisil PF 777 ist durch die Hydrophobierung der Füllstoffoberfläche ein exzellentes Ergebnis realisierbar.

Im Salzsprühtest vermindern sich die Unterschiede hinsichtlich der Enthaftung am Ritz. Mit den oberflächenbehandelten Füllstoffen Aktisil PF 777 und besonders Wollastonit wird zwar die stärkste Enthaftung gefunden, die Rostbildung am Ritz aber zurückgedrängt. Der Einsatz von Schwerspat bewirkt genau den gegenläufigen Effekt. Auch durch zusätzlichen Einsatz von Talkum wird die Performance am Ritz nicht verbessert. Hinsichtlich Korrosion und Enthaftung lässt sich mit Sillitin Z 86 das ausgewogenste Ergebnis unter Salzsprühnebelbelastung erzielen.

Sillitin Z 86 erweist sich insgesamt als Füllstoff der Wahl, wenn gute Beständigkeit auf gestrahltem Stahl sowohl im Salzsprühtest als auch im Kondenswassertest gefordert ist.

3.5 Korrosionsschutz auf ungestrahltem Substrat

Dauerhafter Oberflächenschutz durch Beschichtungen setzt gute Haftung zum Substrat voraus. Umfangreiche Tests wurden daher auch auf kritischem Untergrund wie ungestrahltem kaltgewalztem Stahl (Q-Panel Typ R-48, 200 x 100 x 0,8 mm) durchgeführt. Das Substrat erweist sich durch die relativ glatte Oberfläche als sehr kritisch verglichen mit gestrahltem Stahl.

Liegt mangelnde Haftung vor, können lokale Verletzungen der Beschichtung ohne weitere äußere Einwirkung zu großen Flächenschäden führen wie *Abb. 11* am Beispiel der mit 162 Gewichtsteilen Schwerspat gefüllten Rezeptur illustriert.

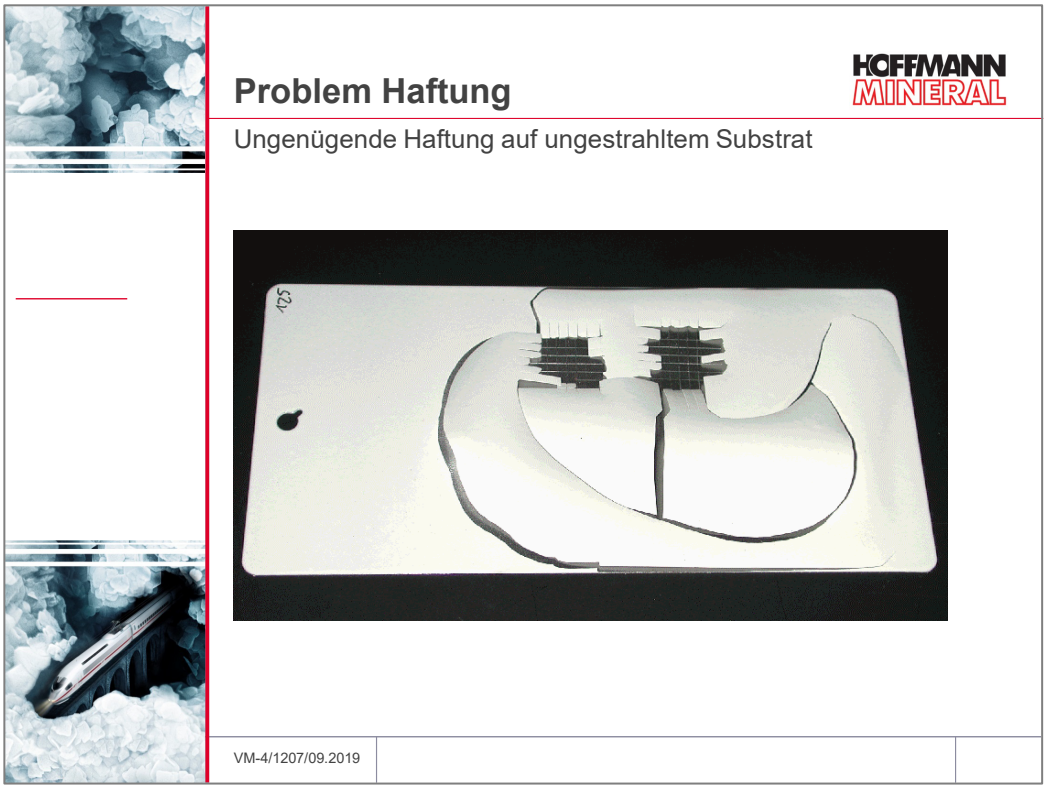


Abb. 11

Die Erhöhung der ursprünglichen Füllstoffkonzentration auf eine PVK von 30 % wirkt sich hier maßgeblich positiv auf die Haftfestigkeit im unbelasteten Zustand aus. So verbessert sich in *Abb. 12* der Gitterschnittkennwert der Formulierung mit Schwerspat deutlich von 5 auf 1, ein Resultat, das auch in der mit Wollastonit gefüllten Variante gefunden wird. Talkum oder Neuburger Kieselerde bewirken bereits bei geringer Füllstoffdosierung gute Haftfestigkeit, die sich bei höherer PVK mit Neuburger Kieselerde sogar noch verbessert.

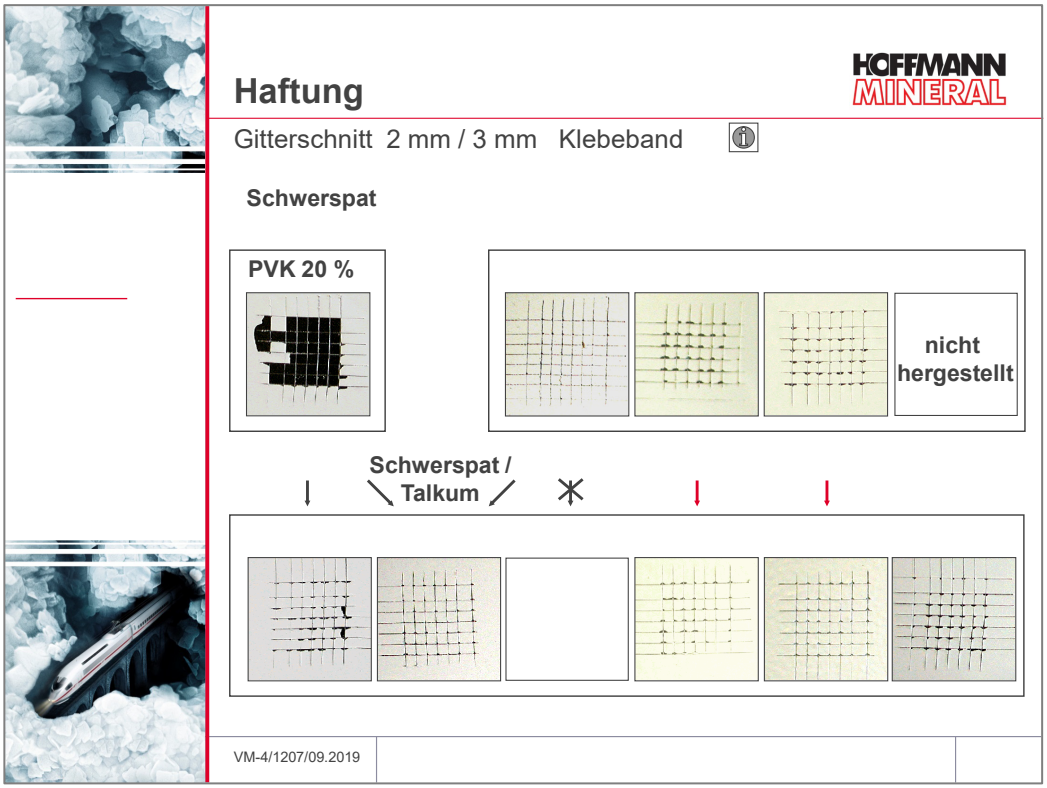


Abb. 12

Im Salzsprühtest werden mit Sillitin Z 86 auf ungestrahltem Stahl herausragende Korrosionsschutzeigenschaften gefunden. Während sich die Haftfestigkeit der übrigen Formulierungen im Zuge der Belastung markant verschlechtert, bleibt die Haftung der Beschichtung mit Sillitin Z 86 unverändert auf sehr gutem Niveau mit einem Gitterschnittkennwert von 1. *Abb. 13* zeigt repräsentative Prüfbleche nach einer Belastungszeit von 480 h.

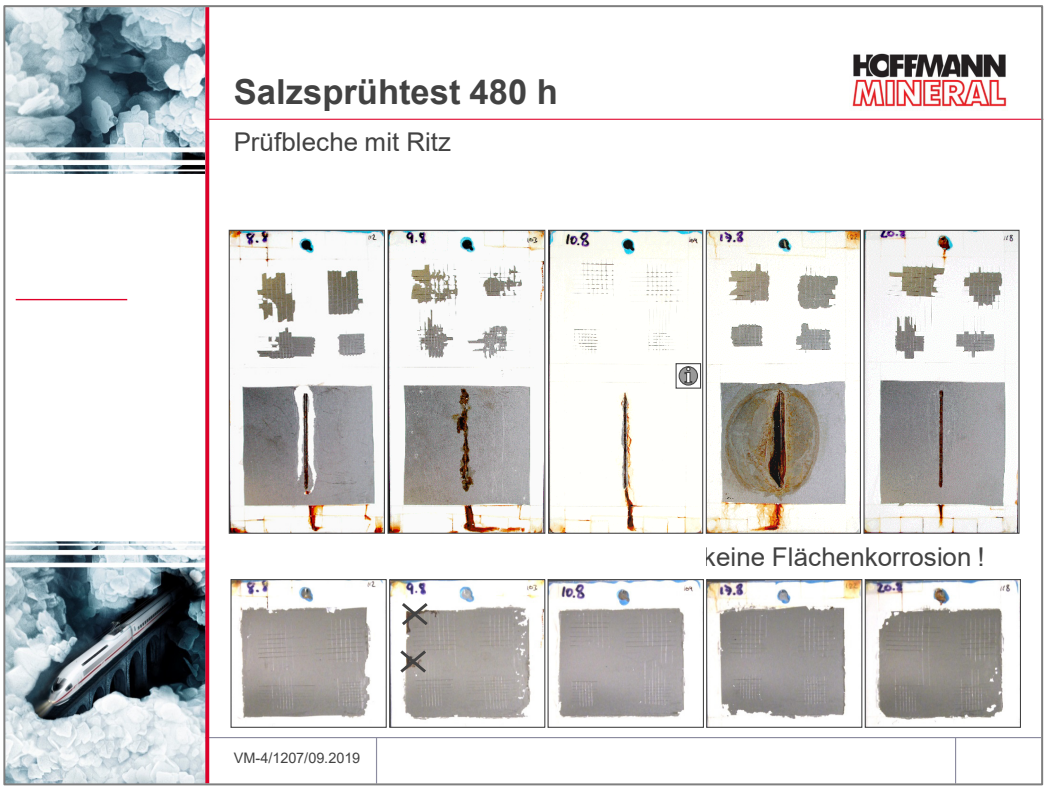


Abb. 13

Besonders deutlich werden die Unterschiede am Ritz (obere Reihe), wo die Formulierung mit Sillitin Z 86 der Korrosion nachhaltig entgegenwirkt und nur geringe Enthaftungstendenz aufweist. Alle anderen Beschichtungen lassen sich von der Verletzungsstelle ausgehend leicht mit dem Messer entfernen und offenbaren höhere Rostintensität am Ritz bei vollflächiger Enthaftung. Eine Flächenkorrosion unter der ungeritzten und abgebeizten Beschichtung (untere Reihe) ist bei keiner der untersuchten Formulierungen feststellbar.

Weiterführende Versuche bestätigen das insgesamt sehr gute Ergebnis mit Sillitin Z 86 und ergeben unverändert gute Haftung und Korrosionsschutzwirkung auch nach verlängerter Belastungszeit von 1000 h.

Gegenüber dem Salzsprühtest ist das Schadensbild im Kondenswassertest (*Abb. 14)* durch starke Tendenz zur Blasenbildung geprägt.
Die höchste Blasendichte ist in der Beschichtung mit Schwerspat erkennbar. Durch Kombination mit Talkum bzw. in der Variante mit Wollastonit pur ist nur eine moderate Verminderung der Anzahl möglich. Die Blasengröße nimmt hingegen sichtbar zu. Sillitin Z 86 ist in der Wirkung zwischen Schwerspat und der Kombination Schwerspat/Talkum einzuordnen.

Als einziger funktioneller Füllstoff erzielt Aktisil PF 777 eine defektfreie Beschichtung. Die sichtbare Oberflächentextur täuscht eine Schädigung nur vor und ist zurückzuführen auf den Strukturaufbau des Nasslackes nach Applikation, wodurch der Verlauf eingeschränkt ist.

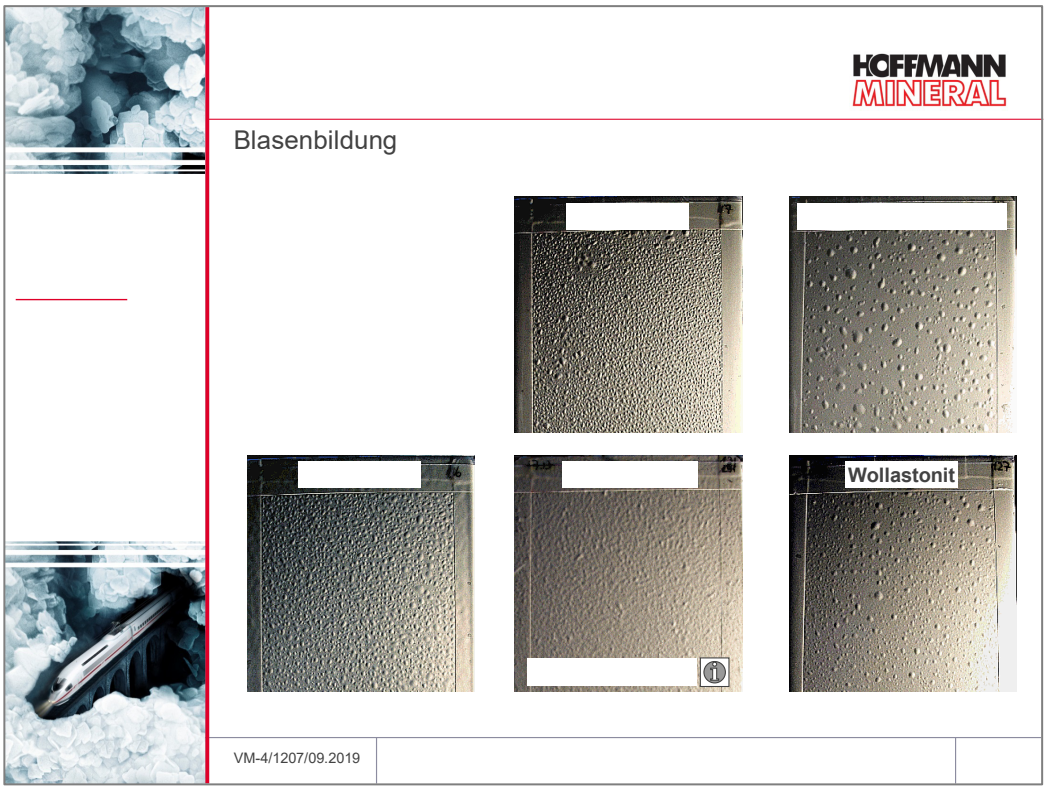


Abb. 14

Trotz der starken Blasenbildung kommt es nur in der mit Sillitin Z 86 gefüllten Formulierung zu merklichen Korrosionserscheinungen in der Substratfläche (*Abb. 15*). Die Hydrophobierung der Füllstoffoberfläche zeigt sich vorteilhaft bei Aktisil PF 777. Abgesehen von sehr vereinzeltem Punktrost ist die Substratfläche korrosionsfrei.

Abb. 15

Mit Gitterschnittwerten von 5 erweisen sich hinsichtlich der Haftung allerdings ausnahmslos alle Formulierungen noch als kritisch auf gewalztem glattem Stahl. Ein begrenzter Enthaftungsbereich an der Ritzverletzung ist nicht mehr nachweisbar wie der *Abb. 16* zu entnehmen ist.

Abb. 16

3.6 Optimierung Salzsprühnebel- und Kondenswasserbeständigkeit

In weiterführenden Versuchen konnte festgestellt werden, dass Ansätze zur Verbesserung der Haftfestigkeit nach Belastung möglich sind, wenn ohne Dispergieradditiv formuliert wird. Um weiterhin gute Einarbeitbarkeit zu gewährleisten, wurde der Füllstoffanteil auf das ursprüngliche Niveau der Referenzrezeptur ohne Rheologieadditiv mit 162 Gewichtsteilen reduziert. Wie in *Abb. 17* dargestellt, wird in der Formulierung mit Aktisil PF 777 nicht nur die Haftung verbessert sondern zudem Korrosion und Enthaftung an der Ritzverletzung zurückgedrängt. Den negativen Einfluss des Dispergieradditivs belegt die Gegenüberstellung der PVK-gleichen Formulierungen ohne bzw. mit Dispergieradditiv.

Abb. 17

Abb. 18 demonstriert die vergleichbaren Effekte nach Belastung im Salzsprühnebel.

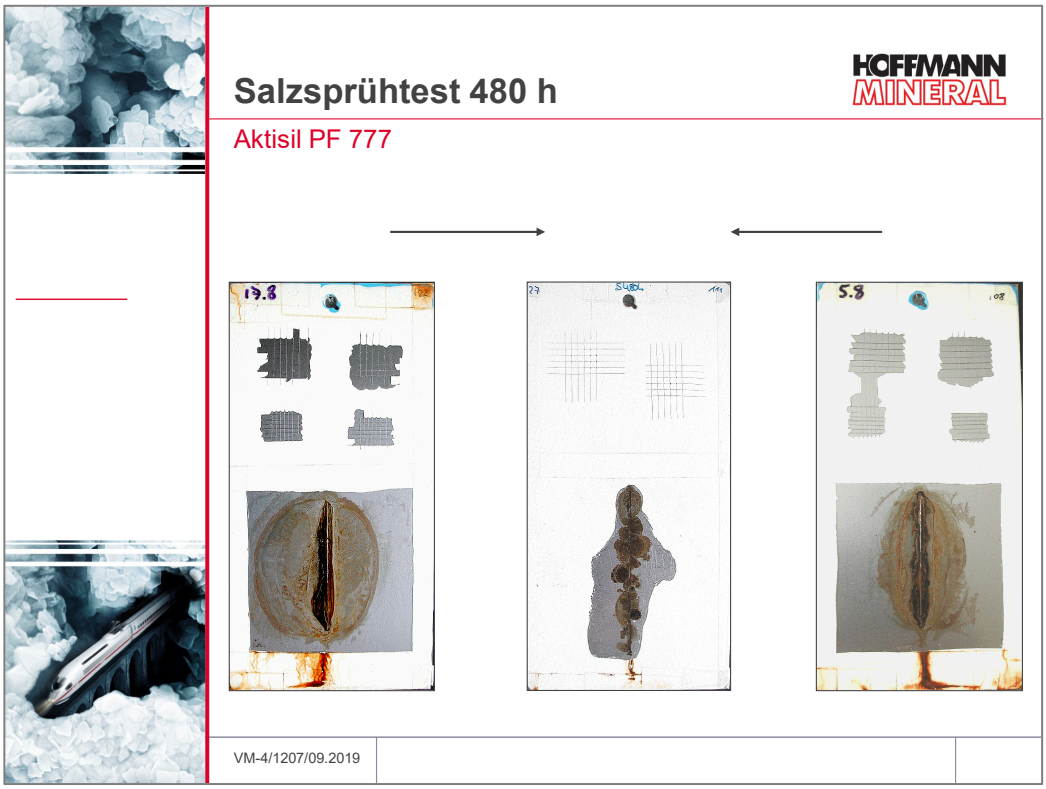


Abb. 18

Der Verzicht auf das Dispergieradditiv wirkt sich hinsichtlich des Korrosionsschutzes bei stark ionischer Belastung (Salzsprühtest) für alle Formulierungen entsprechend *Abb. 19* günstig aus.

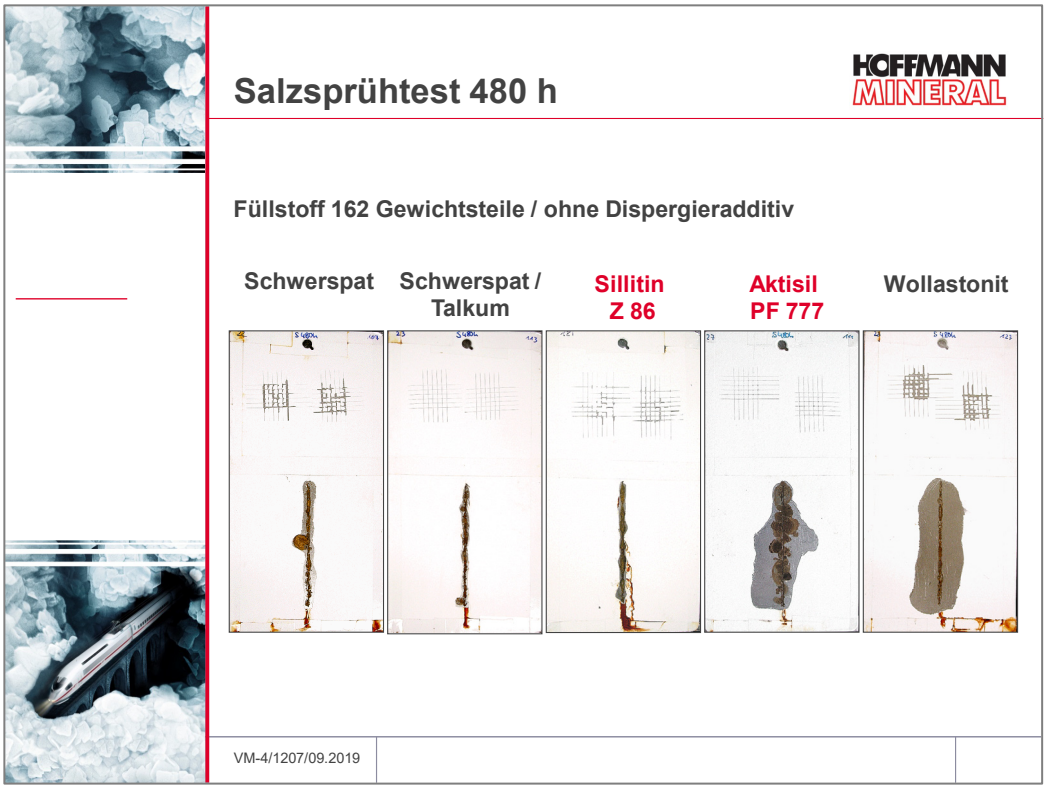


Abb. 19

Bei Anforderung einer ausgewogenen Schutzwirkung sowohl unter Salzsprühnebel- als auch Schwitzwasserbelastung kommt der richtigen Füllstoffauswahl in diesem Zusammenhang die tragende Rolle zu. Im direkten Vergleich erweist sich Aktisil PF 777 als Füllstoff der Wahl. Zwar ergibt sich im Salzsprühtest bei sehr guter Haftung die stärkste Rostausbreitung am Ritz; im Kondenswassertest (*Abb. 20*) führt der Füllstoff aber zum besten Ergebnis. Aktisil PF 777 bewirkt deutlich verbesserte Haftung nach der Belastung sowie verminderte Korrosion bzw. Enthaftung an der Ritzverletzung.

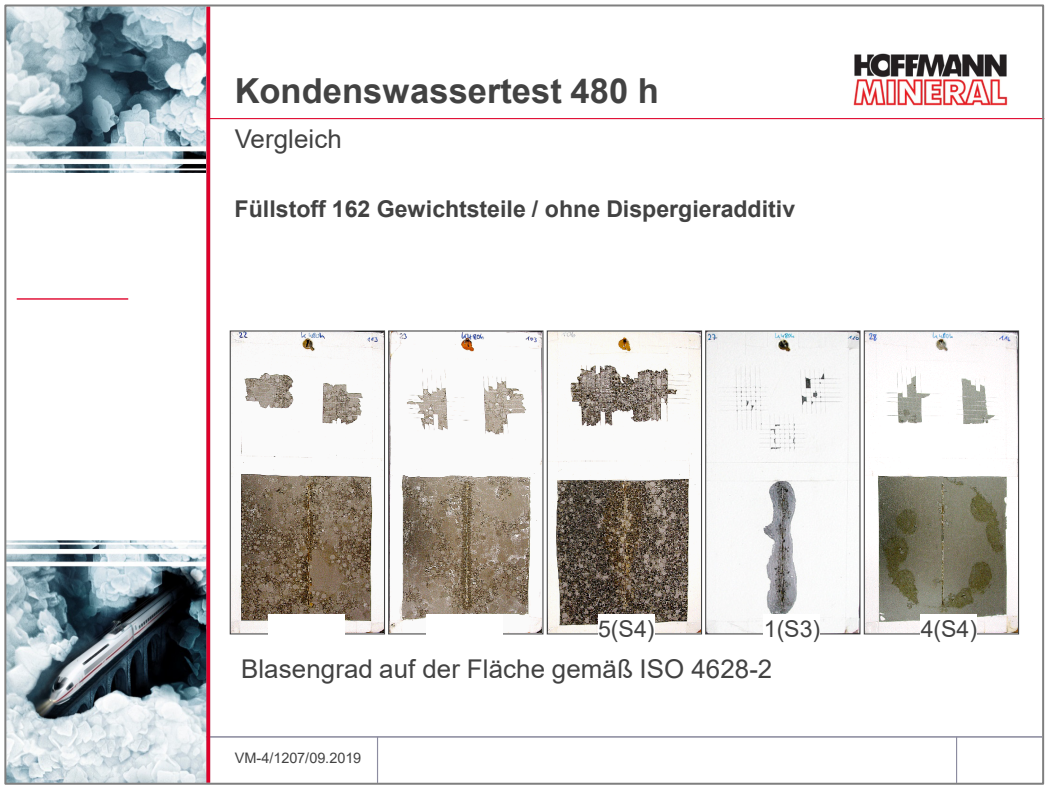


Abb. 20

4 Weitere Eigenschaften

4.1 Auswirkung der Optimierung auf die Topfzeit

Zur Beurteilung der Topfzeit dient der zeitabhängige Viskositätsanstieg nach Härterzugabe. Ein starker Viskositätsanstieg deutet eine geringere Topfzeit und damit verkürzte Verarbeitungsdauer an. Grundlage der Bestimmung sind wiederholte Viskositätsmessungen bei geringer Scherrate mit einem Brookfield-Viskosimeter.

Abb. 21 weist den starken Einfluss des Füllstoffanteils und des Dispergieradditivs beispielhaft anhand der Formulierungen mit Schwerspat bzw. Aktisil PF 777 aus.

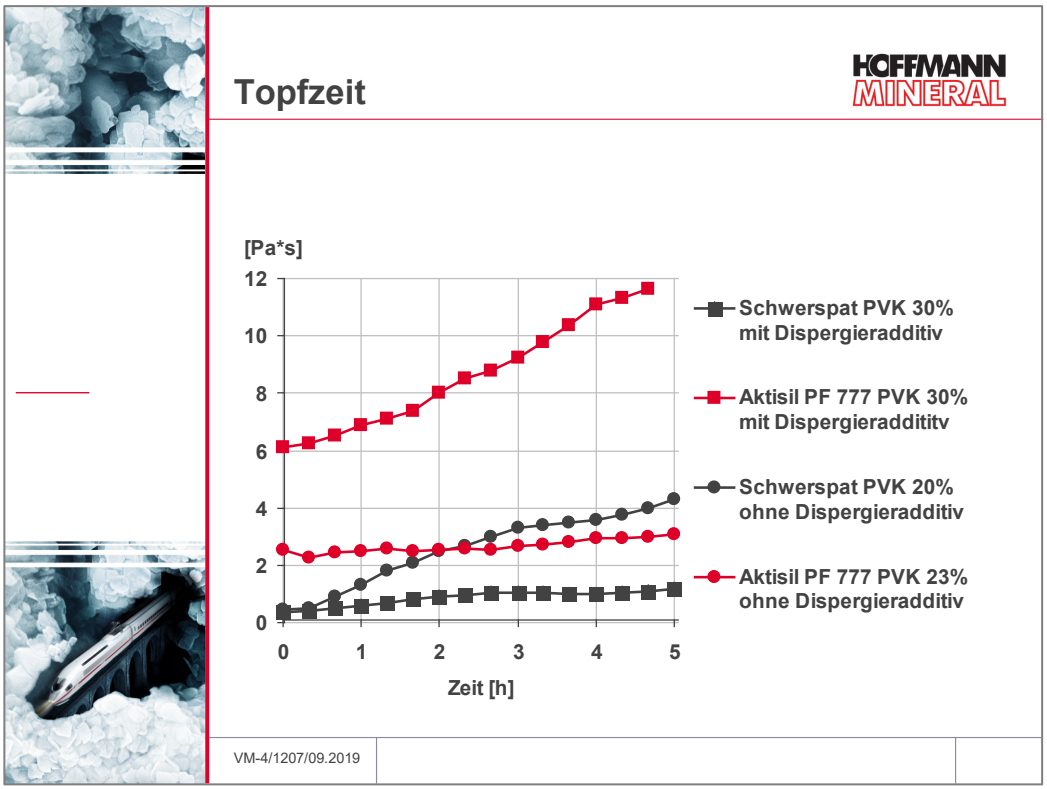


Abb. 21

Durch lineare Regression lässt sich aus den Kurven die mittlere Anstiegsrate der Viskosität ermitteln. Der in *Abb. 22* dargestellte zugehörige Kehrwert ist ein direktes Maß für die Topfzeit und beschreibt die Zeitdauer für einen Viskositätsanstieg von 1 Pa*s.

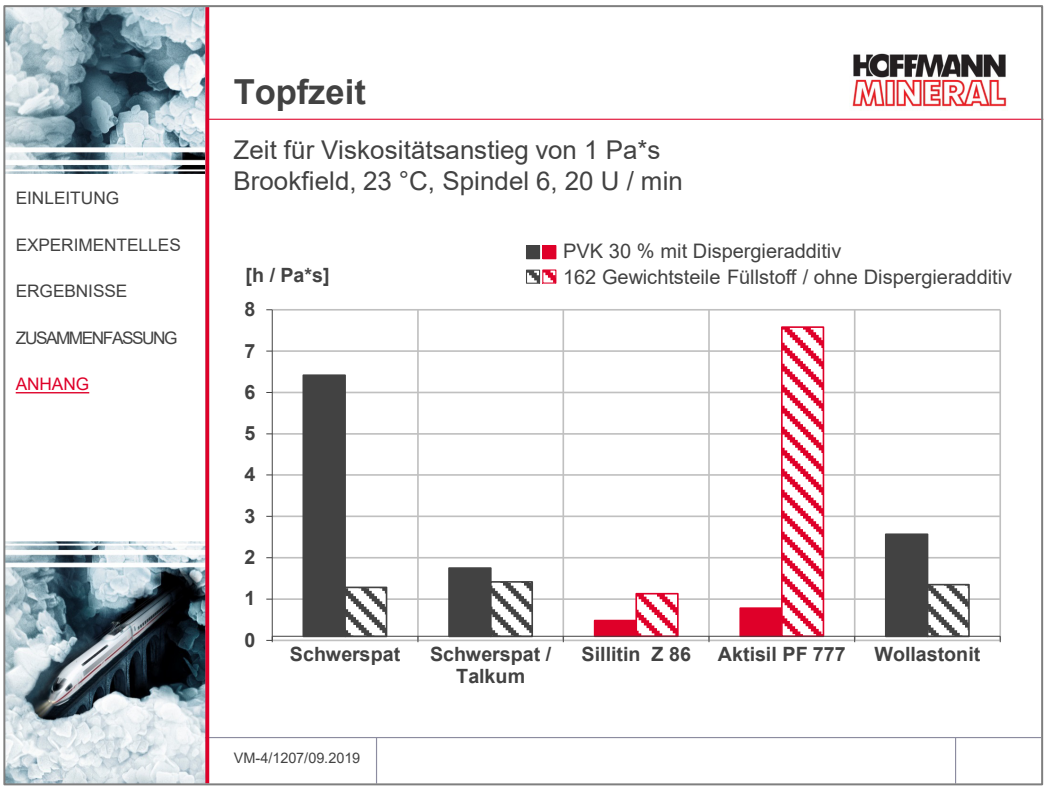


Abb. 22

Bei Verzicht auf das Dispergieradditiv und gleichzeitiger Reduktion des Füllstoffanteils verlängert sich die Zeitspanne mit Neuburger Kieselerde erheblich. Aktisil PF 777 ermöglicht eine deutlich längere Verarbeitungsdauer während Sillitin Z 86 ein Niveau vergleichbar dem der Formulierungen mit den Vergleichsfüllstoffen erzielt. Bei Letzteren wirkt sich der Verzicht auf das Dispergieradditiv trotz Absenkung des Füllstoffgehaltes merklich negativ aus.

5 h nach Beginn der Viskositätsmessungen wurden glatte Q-Panel-Prüfbleche mit dem Nasslack beschichtet, 14 Tage konditioniert und die Haftfestigkeit getestet. Während sich der Gitterschnittkennwert für die Formulierung mit Wollastonit merklich von ursprünglich 1 auf 5 verschlechtert, wird für alle anderen Formulierungen keine Beeinträchtigung in der Haftfestigkeit festgestellt.

4.2 Trocknungsverhalten

Bereits in Vorversuchen konnte festgestellt werden, dass kein signifikanter Füllstoffeinfluss auf das Trocknungsverhalten vorliegt. Der ermittelte Trocknungsgrad T4 nach DIN 53150 lag bei Trockenschichtdicken von 70 bzw. 140 µm im vergleichbaren Bereich von 5-6 Stunden. Wird zur Bestimmung der Durchtrocknung die Drahtbügelmethode nach Erichsen angewandt, ergeben sich Filme, deren Oberflächen nach 4 h durch den aufgelegten und gezogenen Bügel nicht mehr verletzt werden.

4.3 Abrieb

Die Messungen wurden auf einem Taber-Gerät mit Schmirgelstreifen Typ S-42 bei 50 Umdrehungen/Minute für die konditionierten Prüfkörper vorgenommen. Nach Erreichen vorgegebener Umdrehungszahlen wurde der Gewichtsverlust durch das abrasive Medium ermittelt und grafisch aufgetragen. Gemäß *Abb. 23* lassen sich die Füllstoffe hinsichtlich der Abriebbeständigkeit in drei Gruppen einteilen.
Eine vergleichbare Charakteristik zeigen Schwerspat, Sillitin Z 86 und Aktisil PF 777. Talkum führt zu höherem Abrieb, was sich bereits in der Füllstoffkombination mit Schwerspat offenbart. Der nicht lineare Kurvenverlauf belegt die geringere Widerstandsfähigkeit der Beschichtung mit zunehmender Eindringtiefe.

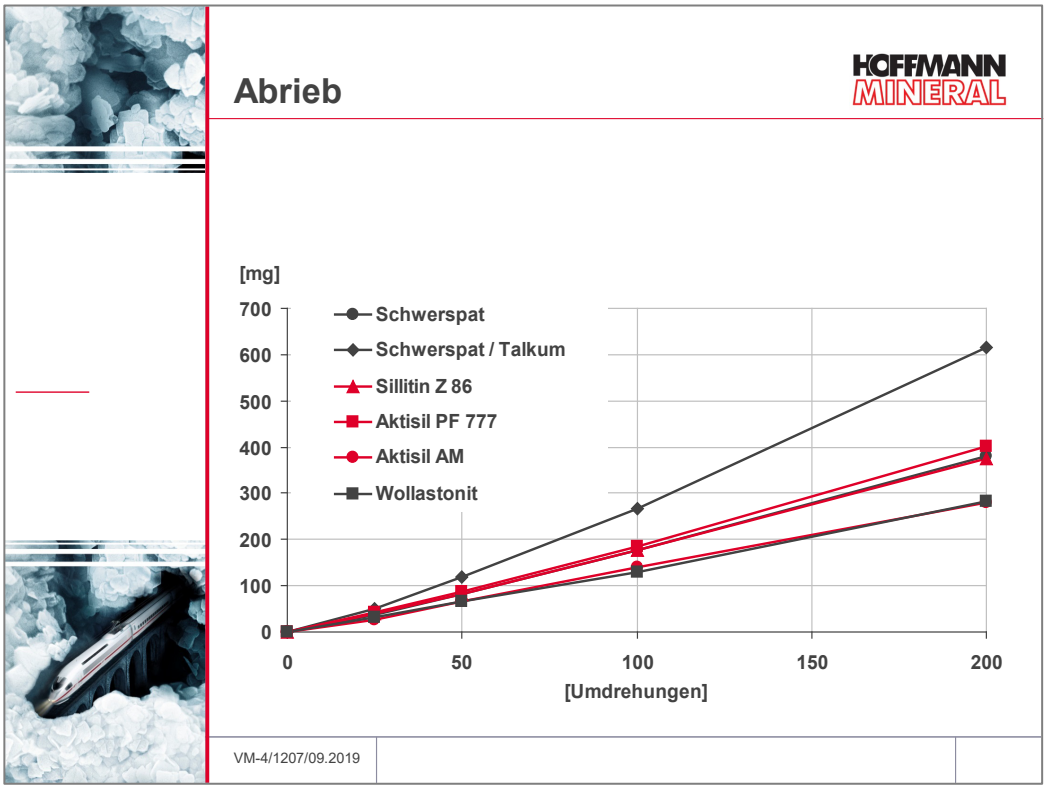


Abb. 23

Die niedrigsten Abriebwerte werden mit Wollastonit erzielt, was als Effekt der reaktiven Oberflächenbehandlung des Füllstoffes anzusehen ist. Ein in entsprechender Weise mit Aminosilan oberflächenbehandeltes Sillitin Z 86 (Aktisil AM) erzielt vergleichbar gute Abriebfestigkeit.

4.4 Glanz

Die unter 60°-Messgeometrie erhaltenen Glanzwerte sind in *Abb. 24* dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass Neuburger Kieselerde im Gegensatz zu Schwerspat und Wollastonit ideale Möglichkeiten zur Mattierung bietet. Erst durch Verzicht auf das Dispergieradditiv ergibt sich in den entsprechend geringer gefüllten Systemen mit allen Füllstoffen verminderter Glanz, wobei die Vorteile für die Neuburger Kieselerde erhalten bleiben. Neuburger Kieselerde ist desweiteren geeignet, auch Anforderungen einer hochglänzenden Beschichtungsoberfläche zu erfüllen, sofern alternativ das gegenüber Sillitin Z 86 etwas grobteiligere Sillitin V 85 eingesetzt wird. Beispielhaft an der Formulierung mit hohem Füllstoffgehalt zu erkennen, wird ein Niveau vergleichbar den Wettbewerbsfüllstoffen erzielt.

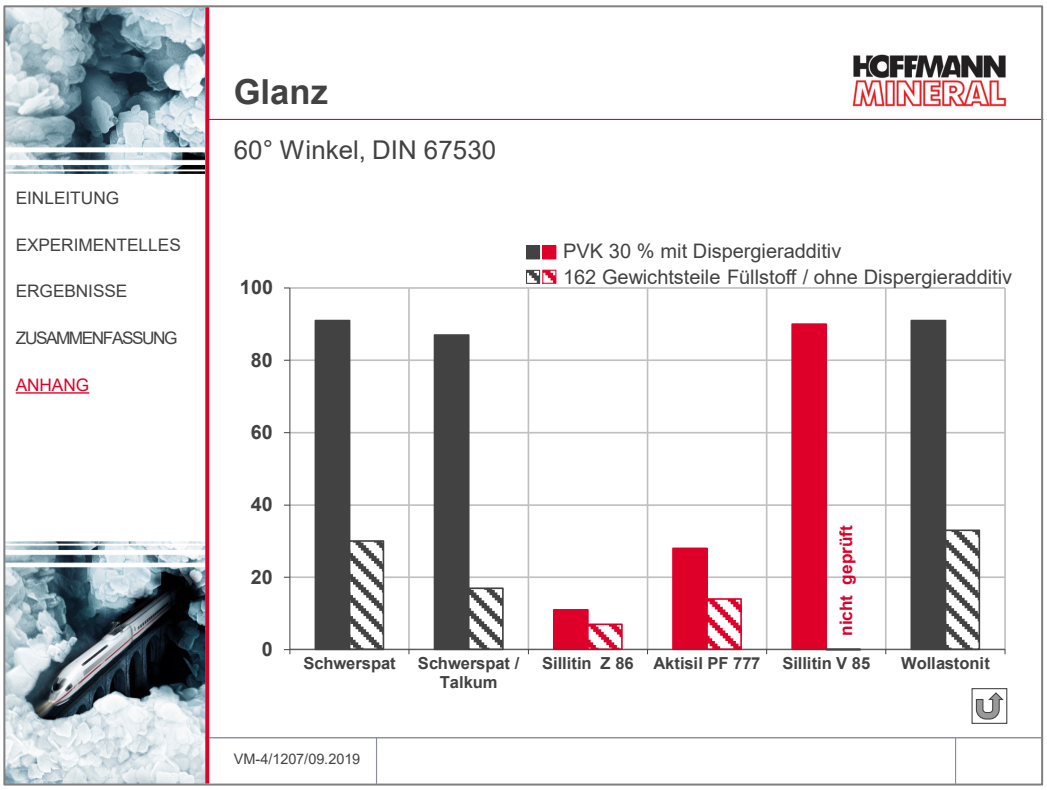


Abb. 24

4.5 Farbe

Die Formulierungen mit Sillitin Z 86 und Aktisil PF 777 weisen im Vergleich zu den Wettbewerbsfüllstoffen einen leicht gelblichen Farbstich auf. Bei höheren Anforderungen an das optische Erscheinungsbild empfiehlt sich der Einsatz des farbneutraleren Sillitin Z 89.

4.6 Deckvermögen

Zur Beurteilung des Deckvermögens wurden Beschichtungsfilme unterschiedlicher Dicke auf Kontrastkarton aufgezogen und getrocknet. Die Schichtdicke, bei der das Verhältnis des über schwarzem und weißem Untergrund gemessenen Normfarbwertes Y 98 % erreicht, wurde als Kriterium für einen deckenden Film herangezogen.

Mit Neuburger Kieselerde wird gemäß *Abb. 25* ein gutes Deckvermögen bereits bei geringerer Trockenschichtdicke erreicht. Der notwendige Materialauftrag für einen deckenden Film kann somit gegenüber den Vergleichsvarianten um 10 - 20 % gesenkt und dadurch Kosten effektiv eingespart werden.

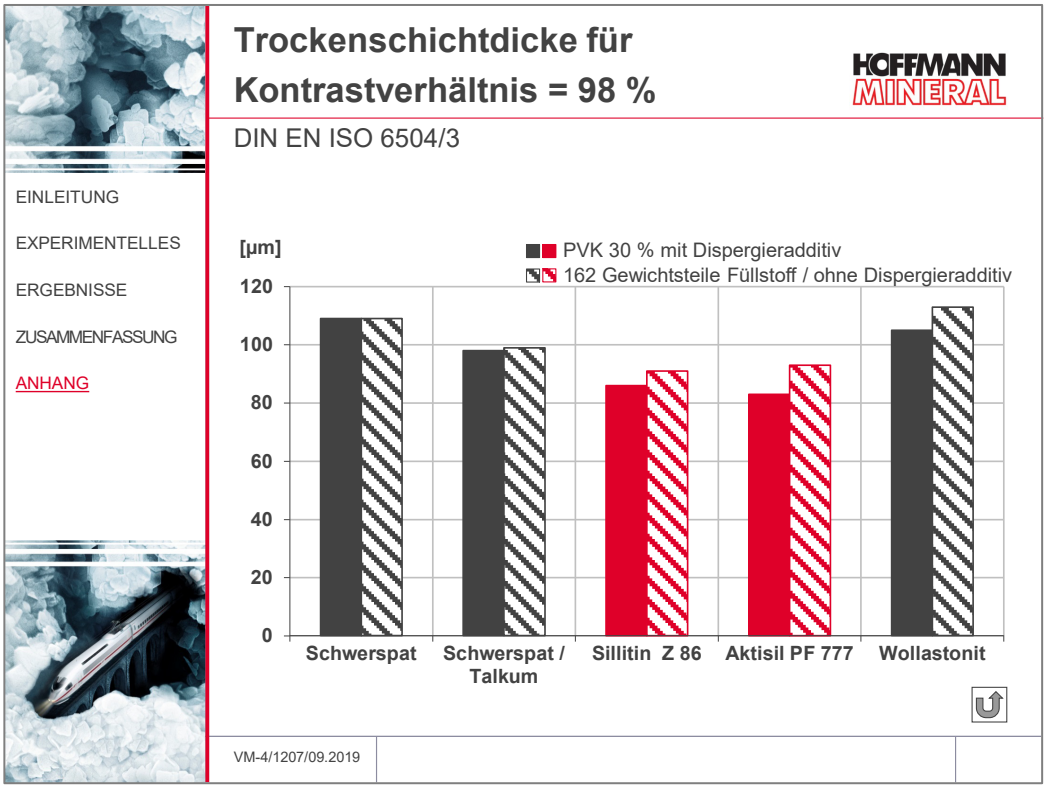


Abb. 25

5 Zusammenfassung

Die Leistungsfähigkeit von Polyasparticbeschichtungen ist bei gezielter Füllstoffwahl und –dosierung durch Einsatz von Neuburger Kieselerde optimierbar. Gegenüber den klassischen Vergleichsfüllstoffen Schwerspat, Talkum und Wollastonit ermöglichen vorzugsweise Sillitin Z 86 sowie Aktisil PF 777 merklich besseren Korrosionsschutz:

- auf gestrahltem Stahl deutlich bestes Korrosionsschutzverhalten mit Sillitin Z 86
  - » reduzierte Korrosion / Enthaftung am Ritz kombiniert mit exzellenter Schutzwirkung und Haftung in der Fläche

- auf ungestrahltem Stahl bei stark ionischer Belastung (Salzsprühtest) vorteilhafter Einsatz von Sillitin Z 86
  - » herausragend gute Haftung bei nur sehr geringer Korrosion / Enthaftung am Ritz

- auf ungestrahltem Substrat und Kondenswasserbelastung generell schlechte Haftung, starke Blasenbildung und Flächenkorrosion.
  Signifikante Verbesserung mit Aktisil PF 777
  - » keine Blasenbildung und nahezu korrosionsfreie Stahloberfläche

- auf ungestrahltem Substrat unter Berücksichtigung von Kondenswassertest und Salzsprühtest beste Ergebnisse mit Aktisil PF 777 bei angepasster Dosierung und Verzicht auf das Dispergieradditiv.
  - » deutlich verbesserte Haftung und reduzierte Korrosion / Enthaftung am Ritz im Salzsprühtest sowie Kondenswassertest

Weitere positive Effekte der Neuburger Kieselerde runden das sehr gute Eigenschaftsprofil ab:

- ausgezeichnete Haftung auch auf ungestrahltem Untergrund

- verbesserte Lagerstabilität und Applikation in höherer Schichtdicke ohne Rheologieadditiv

- Realisierbarkeit sowohl matter (Sillitin Z 86, Aktisil PF 777) als auch glänzender (Sillitin V 85) Beschichtungsoberflächen

- höheres Deckvermögen

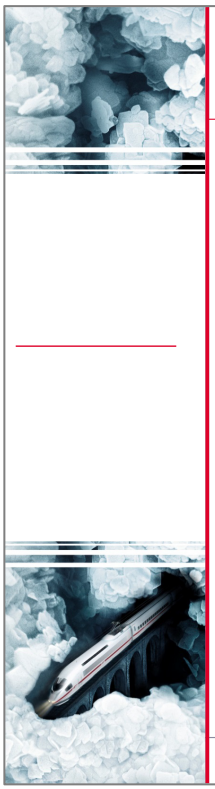
- ausgezeichnetes Preis/Leistungsverhältnis

Durch Kombination der angeführten Eigenschaften der Neuburger Kieselerde mit der Performance VOC-konformer Polyasparticbeschichtungen ergeben sich Anwendungsgebiete

- als Einschichter auf vorwiegend ungestrahltem Substrat im Bereich Bau- und Landmaschinen, Schienenfahrzeuge sowie Industrielackierungen

- auf gestrahltem Substrat als Einschichter oder Primer im Bereich mittlerer bis schwerer Korrosionsschutz für Brücken, Kräne sowie Mast- und Turm-Konstruktionen z. B. Windkraftanlagen

Rezepturempfehlungen zur Formulierung mit Neuburger Kieselerde können *Abb. 26* entnommen werden.



Rezepturempfehlungen

HOFFMANN MINERAL

mit Neuburger Kieselerde

[1] bei stark ionischer Belastung auf gestrahltem oder ungestrahltem Stahl
[2] bei intensiver Feuchtebelastung besonders auf ungestrahltem Stahl

			[1]		[2]	
			Gt	%	Gt	%
A	Desmophen NH 1520	Polyasparaginsäureester niedrigviskos, aminofunktionell	175	15,4	175	17,8
	Desmophen VP LS 2142	Reaktivverdünner blockiertes cycloaliphatisches Diamin	55	4,8	55	5,6
	UOP-L Pulver	Trockenmittel, Zeolith	24	2,1	24	2,4
	MPA / Solvesso (1:1)	Lösemittelgemisch	100	8,8	100	10,2
	BYK-085	Entlüfter, Entschäumer Polymethylalkylsiloxan	8	0,7	8	0,8
	Disperbyk 110	Dispergieradditiv	7	0,6	-	-
	Tinuvin 292	Lichtschutzmittel	5	0,4	5	0,5
	Tronox R-KB-4	Titandioxid	125	11,0	125	12,8
	Heucophos ZPA	Zink-Aluminiumphosphat	125	11,0	125	12,8
	Sillitin Z 86	Füllstoff	311	27,4	-	-
	Aktisil PF 777	Füllstoff, oberflächenmodifiziert, hydrophob	-	-	162	16,5
B	Desmodur N 3600	Härter niedrigviskoses HDI-Polyisocyanurat	202	17,8	202	20,6
Summe			1137	100,0	981	100,0

Feststoffgehalt m/m [%]	ca. 91	ca. 90
Pigmentvolumenkonzentration (PVK) [%]	ca. 30	ca. 23
VOC [g/l]	ca. 141	ca. 148

VM-4/1207/09.2019

Abb. 26

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.