Umweltfreundliche Beschichtung durch die smartbonding-Technologie:

Umweltschutz durch ökonomische und ökologische Verbesserung von Pulverlackeigenschaften

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,

gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

AZ 31019

Dipl.-Ing. Yvonne Brand & Dr. Markus Schmidtchen
Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG
Strohgäustrasse 28, 70435 Stuttgart
www.woerwag.de

September 2015

Projektkennblatt

11/95

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az **31019**	Referat **21**	Fördersumme	**90.000€**

Antragstitel	Umweltschutz durch ökonomische und ökologische Verbesserung von Pulverlackeigenschaften.
Stichworte	Pulverlackeigenschaften

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
2 Jahre	**01.07.2013**	**30.06.2015**	**1**

Zwischenberichte: alle 6 Monate Kurzbericht

Bewilligungsempfänger	**Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG** Strohgäustraße 28 70435 Stuttgart	Tel **0711/8296-1012** Fax 0711/8296-41012
		Projektleitung Yvonne Brand (Dr. Markus Schmidtchen
		Bearbeiter Brand, Vuksan, Schmid, Hageleit, Büttner, Schmidtchen
Kooperationspartner		

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Das Ziel dieses Projektes, ist die Entwicklung von Pulverlacken mit einem innovativen Eigenschaftsprofil für den Möbelmarktsektor, sowie die Übertragung und Anpassung des Bondingprozesses auf das Thema SMART-Bonding.

Die Idee, welche hinter diesem Projekt steckt, ist die Ablösung der konventionellen Lacksysteme durch die umweltschonenderen Pulverlacksysteme. Die Inspiration des Projektes entstand aus der Entwicklung von Effektpulverlacken. Dieser Prozess soll nun dazu verwendet werden, Pulverlacke mit einem innovativen Eigenschaftsprofil zu entwickeln.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Der hier zum Einsatz kommende Bondingprozess dient eigentlich zur Herstellung von Effektpulverlacken. Dabei werden durch einen zusätzlichen Produktionsprozess die Effektpigmente in einem thermo-mechanischen Prozess fest an die Pulverpartikel gebunden. Die ursprüngliche Idee des Bondingverfahrens soll nun für diese Entwicklung genutzt werden.

Der erste Schritt dieser Entwicklung wird die Übertragung und Anpassung des Bondingprozesses der Effektpigmententwicklung auf das Thema SMART-Bonding sein. Hierbei müssen Parameter wie die Aufheizphase, die Bondingtemperatur, die Bondingzeit, die Umdrehungszahl und die Abkühlphase berücksichtigt werden.

Der zweite Teil der Entwicklung besteht darin, mit Hilfe dieses Prozesses, Pulverlacke mit Eigenschaften auszustatten, die bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich waren. Hierzu zählen Eigenschaften wie z.B. die Optimierung der Kratz- und Abriebbeständigkeit, die Reduzierung des Schwarzabriebs, die Reduzierung der Einbrenntemperatur und die Reduzierung des Feinanteils.

Produkte mit diesen Eigenschaften sollen zunächst bei unseren Möbelmarkt Kunden vorgestellt werden. Erfahren unsere neu entwickelten Produkte in diesem Bereich eine sehr hohe Referenz, möchte man versuchen diese Produkte auch in anderen Bereichen auf dem Markt zu platzieren.

Ergebnisse und Diskussion

Untersucht wurden die Themenblöcke Kratz- und Abriebbeständigkeit, Korrosionsschutz und Katalyse, weitere Themenblöcke wurden im Rahmen des Projektes erörtert, jedoch nicht priorisiert.
Bei der Einarbeitung von kratzfesten harten Partikeln konnte im Vergleich zu extrudierbaren sphärischen Partikeln kein positiver Effekt für das Eigenschaftsprofil gefunden werden, noch konnte die Einsatzmenge reduziert werden. Hier hat der Bondingprozess keinen Mehrwert kreieren können.
Bei der Verwendung von Korrosionschutzpigmenten oder –mitteln konnte zwar ein Effekt gegenüber dem nichtmodifizierten Material gefunden werden, aber ebenfalls konnte noch kein Mehrwert gegenüber durch Extrusion ausgerüstete Pulverlacke nachgewiesen werden.
Beim letzten Bereich der Katalyse ist das Prinzip von Smartbonding eher kontraproduktiv, weil regionale Reaktivitätsunterschiede zu Oberflächenstörungen führen die einen Einsatz unmöglich machen.

Fazit

Die bisher untersuchten Themenblöcke, um die Idee des Smartbondings zu untersuchen waren noch nicht zielführend. Die einfache Übertragung des Effektbondingprozesses auf den Smartbondingprozess ermöglicht die schnelle Prüfung auf Machbarkeit von weiteren Smartbonding-Ideen.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt ○ An der Bornau 2 ○ 49090 Osnabrück ○ Tel 0541/9633-0 ○ Fax 0541/9633-190

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt 2
Inhaltsverzeichnis 4
Verzeichnis von Bildern und Tabellen 5
Zusamenfassung 6
Einleitung 7
Hauptteil 9
- Prozess 9
- Kratzbeständigkeit 10
- Korrosionsschutz 12
  - Zinkflakes 12
  - Metallphosphate 17
  - Modifizierte Kieselsäuren 17
  - Kombinationsversuche 18
  - Abschlußvergleich 19
- Katalyse 19

Fazit 20

Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abbildung 1: Priorisierung der zu untersuchenden Effekte 9
Abbildung 2: Salzsprühtestergebnisse nach 240h mit Zinkflake GTT 13
Abbildung 3: Salzsprühtestergebnisse nach 240h mit Zinkflake TV, AT und G. 14

Tabelle 1: Technische Prüfungen an mit Korund gebondetem Pulverlack. 11
Tabelle 2: Salzsprühtestergebnisse nach 240h. 14
Tabelle 3: Salzsprühtestergebnisse 240h diverser Systeme 16
Tabelle 4: Salzsprühtestergebnisse nach 240h. 17
Tabelle 5: Salzsprühtestergebnisse 18
Tabelle 6: Salzsprühergebnisse nach 240h 18
Tabelle 7: Salzsprühtest verschiedener Korrosionsschutzsysteme. 19

Zusamenfassung

Bei dem durchgeführten Projekt handelt es sich um das Thema SMART Bonding. Wörwag möchte mit diesem Projekt Pulverlacke mit einem innovativen Eigenschaftsprofil entwickeln. Neben der Produktentwicklung bestand daher auch die Aufgabe den bereits bestehenden Bondingprozesse für Effektpigmente auf dieses Projekt zu übertragen bzw. anzupassen, was ohne Probleme realisiert werden konnte.

Der Umweltgedanke, welcher hinter diesem Projekt steckt, ist die Ablösung der konventionellen Lack-systeme durch Pulverlacksysteme. Der Vorteil von Pulverlacken, im Gegensatz zu konventionellen Lacksystemen ist, dass sie als deutlich umweltschonender gelten. Die spezielle Idee des Projektes SMART Bonding entstand aus der Entwicklung des Bondingprozesses von Effektpulverlacken. Er soll auf Pigmente, Füllstoffe oder anderen funktionelle Stoffe angewandt werden, die nicht im normalen Extrusionsprozess eingearbeitet werden können, weil sie die mechanische Belastung nicht überstehen und deren Eigenschaftsprofil durch einfaches Mischen nicht zur Entfaltung kommt.

Untersucht wurden die Themenblöcke Kratz- und Abriebbeständigkeit, Korrosionsschutz und Katalyse, weitere Themenblöcke wurden im Rahmen des Projektes erörtert, jedoch nicht priorisiert.

Bei der Einarbeitung von kratzfesten harten Partikeln konnte im Vergleich zu extrudierbaren sphärischen Partikeln kein positiver Effekt für das Eigenschaftsprofil gefunden werden, noch konnte die Einsatzmenge reduziert werden. Hier hat der Bondingprozess keinen Mehrwert kreieren können.

Bei der Verwendung von Korrosionschutzpigmenten oder –mitteln konnte zwar ein Effekt gegenüber dem nichtmodifizierten Material gefunden werden, aber ebenfalls konnte noch kein Mehrwert gegenüber durch Extrusion ausgerüstete Pulverlacke nachgewiesen werden.

Beim letzten Bereich der Katalyse ist das Prinzip von Smartbonding eher kontraproduktiv, weil regionale Reaktivitätsunterschiede zu Oberflächenstörungen führen, die einen Einsatz unmöglich machen.

Die bisher untersuchten Themenblöcke, um die Idee des Smartbondings zu untersuchen waren noch nicht zielführend. Die einfache Übertragung des Effektbondingprozesses auf den Smartbondingprozess ermöglicht die schnelle Prüfung auf Machbarkeit von weiteren Smartbonding-Ideen.

Einleitung

Bei dem durchgeführten Projekt handelt es sich um das Thema SMART Bonding. Wörwag möchte mit diesem Projekt Pulverlacke mit einem innovativen Eigenschaftsprofil entwickeln. Die entwickelten Produkte sollen unter anderem im Möbelmarktsektor eingesetzt werden. Nach dem Stand der Vorentwicklung im Bereich Effektpigmentbonding, konnte man davon ausgehen, dass diese Produkte mit einem sehr ähnlichen Herstellprozess hergestellt werden können. Neben der Produktentwicklung bestand daher auch die Aufgabe diesen bereits bestehenden Prozesse auf dieses Projekt zu übertragen bzw. anzupassen.

Die Idee, welche hinter diesem Projekt steckt, ist die Ablösung der konventionellen Lack-systeme durch Pulverlacksysteme. Der Vorteil von Pulverlacken, im Gegensatz zu konventionellen Lacksystemen ist, dass sie deutlich umweltschonender sind. Umwelt-schonender bedeutet zum einen, dass Pulverlacke lösemittelfrei sind. Es kommt also weder bei der Herstellung, beim Beschichtungsvorgang, noch beim Einbrennen zur Emission von Lösemitteln.

Außerdem entstehen durch den Einsatz von Pulverlacken deutlich weniger Abfälle. Pulverlacke sind im Lackierprozess rückgewinnbar und weisen eine deutlich höhere Lagerstabilität auf, als konventionelle Lacksysteme. Konventionelle Einbrennsysteme haben meist eine begrenzte Lagerstabilität von 3 bis 12 Monaten. Überlagerte Materialien müssen entsorgt werden, wodurch größere Mengen an Abfall entstehen. Pulverlacke hingegen haben eine Lagerstabilität zwischen 12 und 24 Monaten. Durch diese langen Lagerzeiten kommt es eher zu kleineren Mengen an überlagerten Materialen und dadurch auch zu geringeren Mengen an Abfällen.

Die Idee des Projektes SMART Bonding entstand aus der Entwicklung von Effektpulverlacken. Der hier zum Einsatz kommende Bondingprozess dient eigentlich zur Herstellung von Effekt-pulverlacken. Effektpigmente können nicht im normalen Extrusionsprozess eingearbeitet werden, weil sie die mechanische Belastung nicht überstehen. Mit einem einfachen Mischprozess von Pulver und Effektpigment, dem sogenannten Dryblend-Verfahren erhält man Effektpulverlacke, die nur ohne Recycling verarbeitet werden können, weil sie nicht prozessstabil sind.

Beim Bondingprozess werden durch einen zusätzlichen Produktionsprozess die Effektpigmente in einem thermo-mechanischen Prozess fest an die Pulverpartikel gebunden. Durch diesen Vorgang weisen Effektpulverlacke ein hohes Maß an Prozesssicherheit während der Applikation auf und es gibt keine Probleme bei der Rückgewinnung. Demnach handelt es sich beim Bondingverfahren um ein Veredelungsverfahren von Pulverlacken. Die ursprüngliche Idee des Bondingverfahrens soll nun dazu verwendet werden, Pulverlacke mit einem innovativen Eigenschaftsprofil zu entwickeln und so zum Umweltschutz beizutragen.

Da Pulverlacke im Gegensatz zu den konventionellen Lacksystemen zum jetzigen Zeitpunkt meist qualitativ schlechter sind, wird heutzutage oft auf die weniger umweltschonenderen konventionellen Lacksysteme zurückgegriffen. Dies soll allerdings mit Hilfe dieser Entwicklung geändert werden.

Vor allem mechanische Oberflächeneigenschaften, wie z.B. Abrieb- und Kratzfestigkeit, sind bei Pulverlacken meist qualitativ schlechter als bei konventionellen Lacksystemen. Gerade in der Möbellindustrie ist die Abrieb- und Kratzfestigkeit allerdings eine wichtige Eigenschaft. Durch die alltägliche Dauerbelastung, wie z.B. das Aufeinanderstapeln von Stühlen oder die Belastung von Kleiderstangen durch Kleiderbügel, kommt es zu starkem Abrieb der jeweiligen Beschichtungsoberflächen. Mit Hilfe von SMART Bonding möchte man versuchen, die mechanischen Oberflächeneigenschaften von Pulverlacken so zu verbessern, dass die beschichteten Oberflächen eine längere Lebensdauer erhalten.

Ein weiterer Punkt, warum ebenfalls oft auf konventionelle anstatt auf Pulverlack - Systeme zurückgegriffen wird, ist die niedrigere Einbrenntemperatur der konventionellen Lacksysteme. Pulverlacke werden meist 10 Minuten bei einer Temperatur zwischen 160°C und 180°C ein-gebrannt. Konventionelle Einbrennsysteme hingegen werden meist 30 Minuten bei einer Temperatur zwischen 130°C und 140°C verarbeitet. Mit Hilfe von SMART Bonding soll die Einbrenntemperatur von Pulverlacken auf 10 Minuten 140°C reduziert werden. Die geringere Einbrenntemperatur würde einige Vorteile mit sich bringen. Es würde sich die Aufheizzeit der zu beschichteten Teile verkürzen, was zu einem deutlich geringeren Energieverbrauch führen und so die Umweltbelastung reduzieren würde. Ferner würde sich das Anwendungsspektrum von Pulverlacken vergrößern. Aufgrund der hohen Einbrenntemperaturen der Pulverlacke ist man bei der Anwendung sehr eingeschränkt. Temperaturempfindliche Teile konnten seither nicht mit Pulverlack beschichtet werden. Durch die Reduzierung der Einbrenntemperatur könnte das Einsatzgebiet der Pulverlacke ausgeweitet und so die Umwelt geschont werden.

Eine weitere Idee, welche in dieses Projekt mit einfließen sollte, ist die Reduzierung des Feinanteils. Dieser entsteht mitunter bei der Pulverlackherstellung, wo er durch so genannte Sichter abgetrennt werden muss. Zum anderen entsteht der Feinanteil beim Beschichtungsvorgang. Dieser wird über Zyklone abgeschieden. Der Feinanteil im Pulverlack lässt sich nur schwer bis gar nicht beschichten, da sich dieser nur sehr schlecht aufladen lässt. Dadurch bilden sich vermehrt Staubwolken und verschmutzen die Anlage. Wäre es möglich mit Hilfe des Bondingprozess den Feinanteil zu reduzieren, hätte man einen noch geringeren Lackverbrauch und weniger Abfälle und somit eine deutlich geringere Umweltverschmutzung.

Dies ist nur ein Auszug der Eigenschaften, die mit Hilfe des Bondingverfahrens verbessert werden sollen. Anhand einer Mindmap wurden alle Eigenschaften aufgelistet, welche mit Hilfe dieses Prozesses verbessert werden könnten. Zunächst werden allerdings nur die vier wichtigsten Themen aufgegriffen. Diese sind in der Mindmap mit Priorität 1 gekennzeichnet.

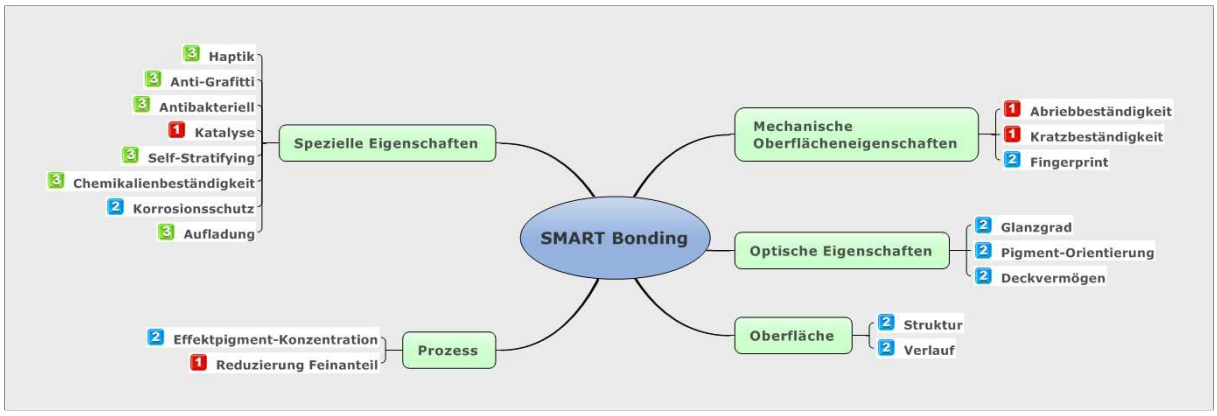


Abbildung 1: Priorisierung der zu untersuchenden Effekte

Für die Durchführung dieses Projektes wird zunächst ein 10L Bonding-Mischer benötigt. Dieser steht bereits von der Effektpulverentwicklung zur Verfügung. Mit diesem Mischer kann mit der Entwicklung begonnen werden. Für größere Chargen ist eine Technikumsanlage mit einem mindestens 75L Heizmischer, sowie einem 650L Kühlmischer notwendig. Diese Maschine wurde bereits für die Effektpulverentwicklung bestellt und kann dann auch für das Projekt SMART-Bonding genutzt werden.

Ist es also möglich mit Hilfe von SMART Bonding die Qualität der Pulverlacke deutlich zu verbessern, könnte man in Zukunft mehr auf die umweltschonenderen Pulverlacke zurückgreifen.

Hauptteil

Prozess

Bei dieser Aufgabe ging es darum, zu überprüfen, ob der Bondingablauf aus der Effektpigmententwicklung für das SMART-Bonding verwendet werden kann, oder ob dieser mit kleineren oder größeren Modifikationen anzupassen ist.
Schon die ersten Versuche und alle im Folgenden durchgeführten Versuche zeigten, dass der entwickelte Bondingprozess aus der Effektpigmententwicklung mit kleinen Änderungen bezüglich der Bondingtemperatur und der Bondingzeit übernommen werden konnte.
Die Parameter des Bondingprozesses werden in erster Linie vom Basismaterial (Pulverlack) und in untergeordneter Weise auch noch vom Zugabemittel bestimmt. Am einfachsten ist der Prozess mit metallischen Partikeln zu fahren (durch die gute Wärme(ab)leitfähigkeit), feinteilige nichtmetallische Partikel mit geringer Dichte und damit großem Zugabevolumen sind am problematischsten. Bei allen Versuchen wurden die einmal bestimmten Parameter konstant gehalten. In den meisten Fällen betrug die Bondingtemperatur 60-65°C und die Bondingzeit ca. 60s.

Kratzbeständigkeit

Die Kratz- und Abriebbeständigkeit kann mit Hilfe von harten Füllstoffen erzielt werden. Diese Füllstoffe können mitextrudiert werden, verringern dann aber die Standzeiten der Extruderschnecken und die Einsatzmengen sind vergleichsweise hoch – als Referenz dienen hier die Einsatzmengen im Flüssiglackbereich.
Aus dem Flüssiglackbereich ist auch bekannt, dass die harten, anorganischen Füllstoffe auch an der obersten Lackoberfläche vorhanden sein müssen. Auf diesen Erkenntnissen stützt sich die Annahme, dass aufgebondete Füllstoffpartikel mobiler sein sollten als einextrudierte und damit voll eingeschlossene Partikel. Die gebondeten Füllstoffe sollten also leichter an die Lackoberfläche gelangen, könnten in geringeren Mengen eingesetzt werden und somit brillanterer evtl. sogar transparentere Lackformulierungen ermöglichen.
Die ersten Versuche wurden mit einem plättchenförmigen Korund durchgeführt. Dieser Füllstoff soll sich ähnlich eines Aluminiumpigments verhalten und die Kratz- und Abriebbeständigkeit verbessern. Es wurden zwei Körnungen (D50 = 17µm und D50 = 6,5µm) in drei verschiedenen Konzentrationen (1%, 3% und 5%) untersucht.
In allen 6 Kreuzversuchen (YH121/1-6) wurde mit denselben Bondingparametern gearbeitet, nämlich Bondingzeit = 60s und Bondingtemperatur = 63°C. Der Prozess ist bei allen Versuchen ohne Probleme oder Auffälligkeiten durchgelaufen. Bei der Variante mit 5% des feinen Korunds war allerdings das Aufnahmevermögens der Basis für den Füllstoff überschritten.

Die Ergebnisse der gebondeten Versuchsvarianten wurden zum Einen mit dem Basispulvermaterial verglichen, zum anderen aber auch mit einem kratzfestausgerüsteten Material, bei dem sphärisches Korund einextrudiert wurde.
Es kam zu einer deutlichen Verschlechterung der Schlagtiefung bei allen Varianten, mit zunehmender Konzentration teilweise noch ausgeprägter, d.h. es ist ein Effekt der Versteifung bzw. Versprödung zu beobachten. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Erichsentiefung mit zum Teil ausgeprägten negativen Effekten.
Zur Bestimmung des Abriebs wurde der Abrex-Test durchgeführt, mit auch hier einer deutlichen Verschlechterung gegenüber dem Basismaterial. Ein uneinheitliches Bild bekommt man bei der Trockenverkratzung mittels Crockmeter. Bei 10 DH (Doppelhüben) kann eine Verbesserung erzielt werden, bei 100 DH erhält man sehr schwankende Ergebnisse. Zum Teil trat eine Verbesserung ein, zum Teil gab es Verschlechterungen und zum Teil sind die Ergebnisse gleich geblieben. Das beste Einzelergebnis erzielte man mit einer Einsatzmenge von 3%, ein deutlicher Unterschied zwischen der feineren Körnung und der gröberen Körnung wurde nicht gesehen.
Aufgrund dieses Sachverhalts, dass zwischen der feinen und der groben Körnung kein Unterschied zu erkennen war, wurde bei den weiteren Versuchen nur mit der groben Körnung (D50 = 17 µm) weiter gearbeitet.

Versuchsnummer:	YH 094 F. 1165584		YH 121/1		YH 121/2		YH 121/4		YH 121/5		YH 121/6	
	SD/Temp:	Ergebnis:	SD/Temp:	Ergebnis:	SD/Temp:	Ergebnis:	SD/Temp:	Ergebnis:	SD/Temp:	Ergebnis:	SD/Temp:	Ergebnis:
Info	Nur Basis		1% Plättchenkor. F400		3% Plättchenkor. F400		1% Plättchenkor. F800		3% Plättchenkor. F800		5% Plättchenkor. F800	
Gelierzeit:	180°C	197s	180°C	193s	180°C	184s	180°C	190s	180°C	191s	180°C	185s
Tablettenablauf:	160°C	52mm	160°C	42mm	160°C	43mm	160°C	44mm	160°C	41mm	160°C	38mm
Glanzgrad:	71-76µm	90 GE bei 60°	67-77µm	92 GE bei 60°	61-75µm	92 GE bei 60°	66-77µm	95 GE bei 60°	63-73µm	93 GE bei 60°	67-79µm	93 GE bei 60°
Schlagtiefung:												
konkav	65-68µm	100	68-78µm	<40	68-77µm	>40	66-77µm	>40	70-79µm	>40	66-76µm	>40
konvex		>140		<40		>40		>40		>40		>40
Erichsen-Tiefung:	68-70µm	>10	65-69µm	>10	65-71µm	4,3	68-83µm	9,4	67-74µm	9,6	74-80µm	9,3
Trockenverkratzung:												
Restglanz 10DH	71-76µm	23,3%	67-77µm	59,8%	61-75µm	75%	66-77µm	46,3%	63-73µm	76,3%	67-79µm	53,8%
Restglanz 100DH		77,8%		43,5%		81,5%		24,2%		78,5%		63,4%
Abrex:												
10.000 Zyklen		2		3-4		2-3		3-4		3-4		3-4
20.000 Zyklen		3		-		-		-		-		-
30.000 Zyklen	68-70µm	4	65-69µm	-	65-71µm	-	68-83µm	-	67-74µm	-	74-80µm	-
40.000 Zyklen		5		-		-		-		-		-
50.000 Zyklen		5		-		-		-		-		-
Rütteltest:	70-80µm	*	70-80µm	*	70-80µm	***	70-80µm	**	70-80µm	***	70-80µm	**
Chemikalienbeständigkeit:												
BuAC/EtAC 10s		1		1		1		1		1		1
Cillit Bang 10min		5		5		5		5		5		5
Ethanol 1h		1		1		1		1		1		1
TB 135/180 1h	73-77µm	5	80-113µm	5	69-71µm	5	74-83µm	5	71-83µm	5	66-78µm	5
Senf 6h		5		5		5		5		5		5
Rotwein 6h		5		5		5		5		5		5
Olivenöl 16h		5		5		5		5		5		5
Kugelschreibertinte 16h		1		1		1		1		1		1
Johannisbeersaft 16h		5		4-5		4-5		4-5		4-5		4

Tabelle 1: Technische Prüfungen an mit Korund gebondetem Pulverlack.

Wiederholungsversuche mit zum Teil geringerer Bondingbeanspruchungen, um ein evtl. Brechen der Korundplättchen zu verhindern, brachten entgegen den Erwartungen keine Verbesserung. Untersucht wurde bei diesen Folgeversuchen das grobe Korund mit den Einsatzmengen 1% und 3%. Die Bondingparameter wurden entsprechend den ersten Erkenntnissen angepasst auf eine Bondingzeit von 20s und 40s bei gleicher Bondingtemperatur von 63°C.
Der Prozess ist auch hier bei allen Versuchen ohne Probleme oder Auffälligkeiten durchgelaufen.
Die Ergebnisse waren unverändert, mit einer deutlichen Verschlechterung der Schlagtiefung und Erichsentiefung in Abhängigkeit zur Konzentration. Auch bie der Trockenverkratzung schlägt eine anfängliche Verbesserung bei 10 DH in eine Verschlechterung bei 100 DH um.

Das optimale Ergebnis konnte mit 60s Bondingzeit und einer Korundmenge von 3% erzielt werden. Verglichen mit dem Basismaterial wird jedoch die Schlag- und Erichsentiefung schlechter und die Trockenverkratzung nur unwesentlich besser. Ein mit sphärischem Korund extrudiertes Material hat aber technologische Vorteile und ist zudem ohne den zusätzlichen Prozessschritt kostengünstiger.

Korrosionsschutz

Beim Thema Korrosionsschutz ist bekannt, dass Korrosionsschutzpigmente die Wirkung oft über ihre Kontaktfläche entfalten, d.h. je größer die Kontaktfläche, desto besser die Wirkung. Plättchenförmige Pigmente, wie z.B. Zinkflakes sind daher von besonderem Interesse.

Auch hier können diese Materialien nicht im üblichen Prozeß mitextrudiert werden. Beim einfachen Mischen von Pulver und Korrosionsschutzpigment können keine verarbeitungssicheren Produkte hergestellt werden. Der Einsatz von z.B. Zinkflakes wäre daher nur über einen Bondingprozess realisierbar.

Desweiteren wird vermutet, dass andere Korrosionsschutzpigmente beim Extrusionsprozeß hauptsächlich in der Bindemittelmatrix eingebettet werden, dann in zu geringer Konzentration an der Kontakfläche zum Metallsubstrat vorliegen und somit nicht ihre volle Wirkung entfalten können.

Als Basis der Korrosionsschutzversuche wurde ein Standard-Pulverlack verwendet (WÖRALIT-Grundierpulverlack W806H, grau glänzend) und unter Standardbedingungen verarbeitet (Einbrennbedingung: 10 Minuten bei 180°C Objekt).

Zinkflakes

Die ersten Versuche wurden aus besagten Gründen mit Zinkflakes (Firma Eckart) durchgeführt. Bei Zinkflakes werden hohe Konzentrationen benötigt, da es sich hierbei um einen kathodischen Korrosionsschutz handelt. Der kathodischen Korrosionsschutz funktioniert über den Kontakt Metall / Metall. Die Zinkflakes fungieren als Opferanode.

Bei den verwendeten Zinkflakes handelt es sich um plättchenförmige Korrosionsschutzpigmente aus metallischem Zink. Die untersuchten Korrosions-schutzpigmente unterscheiden sich lediglich in der Korngröße und damit auch in ihrem Aspektverhältnis.

-Standard Zinkflake G: D50 = 8,5µm
-Standard Zinkflake GTT: D50 = 13µm
-Standard Zinkflake AT: D50 = 20µm
-Standard Zinkflake TV: D50 = 50µm

Diese 4 Zinkflake-Typen wurden in den Konzentrationen 5%, 10%, 20% und 30% auf das obengenannte Basismaterial aufgebondet. Die Bondingparamter mit einer Bondingzeit von 60s und einer Bondingtemperatur von 62°C entsprechen wieder den aus der Effektpigmentausarbeitung bekannten Bedingungen. Alle Bondingversuche sind wiederum ohne Probleme oder Auffälligkeiten durchgelaufen.

Die ersten Versuchsergebnisse waren sehr vielversprechend und durchweg besser als das Standardprodukt ohne weitere Korrosionsschutzausrüstung. In Abbildung 2 sind die ersten Ergebnisse veranschaulicht und in Tabelle 2 tabellarisch zusammengefasst.

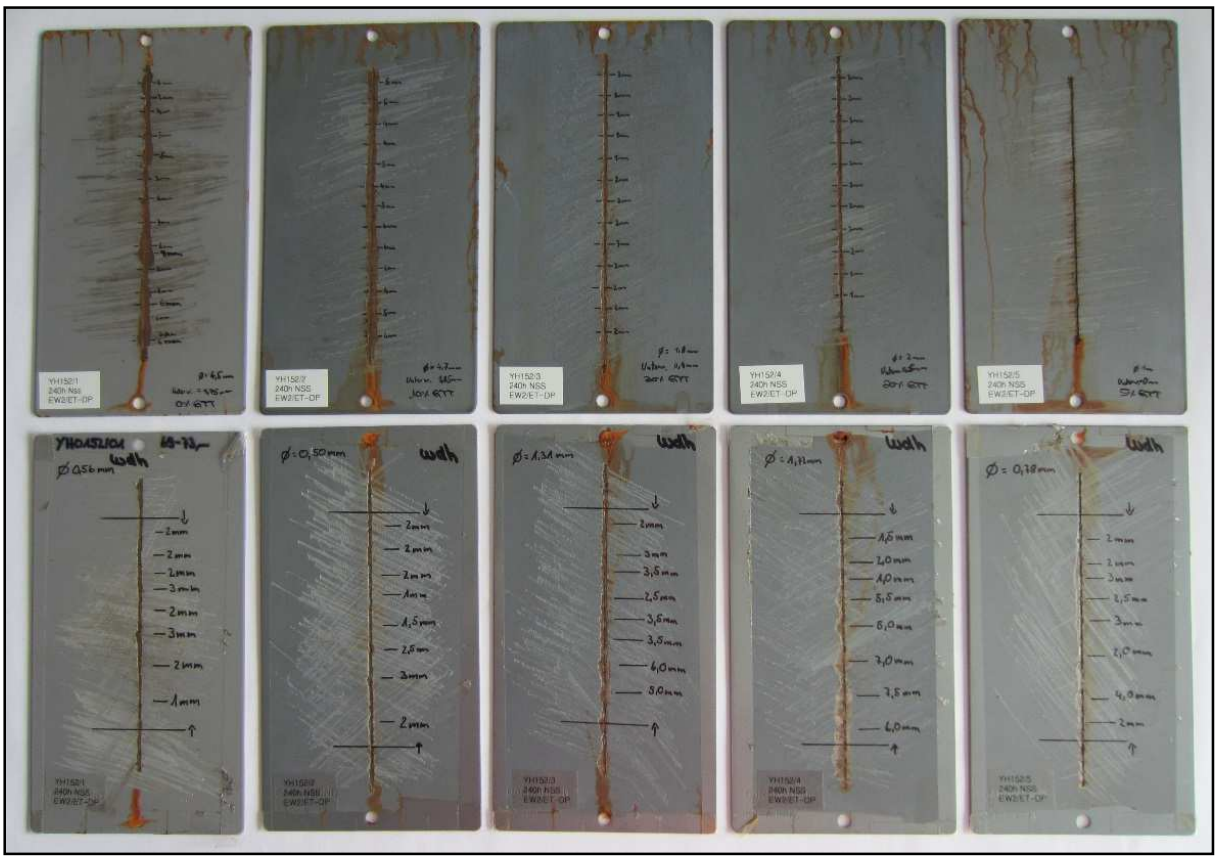


Abbildung 2: Salzsprühtestergebnisse nach 240h mit Zinkflake GTT.

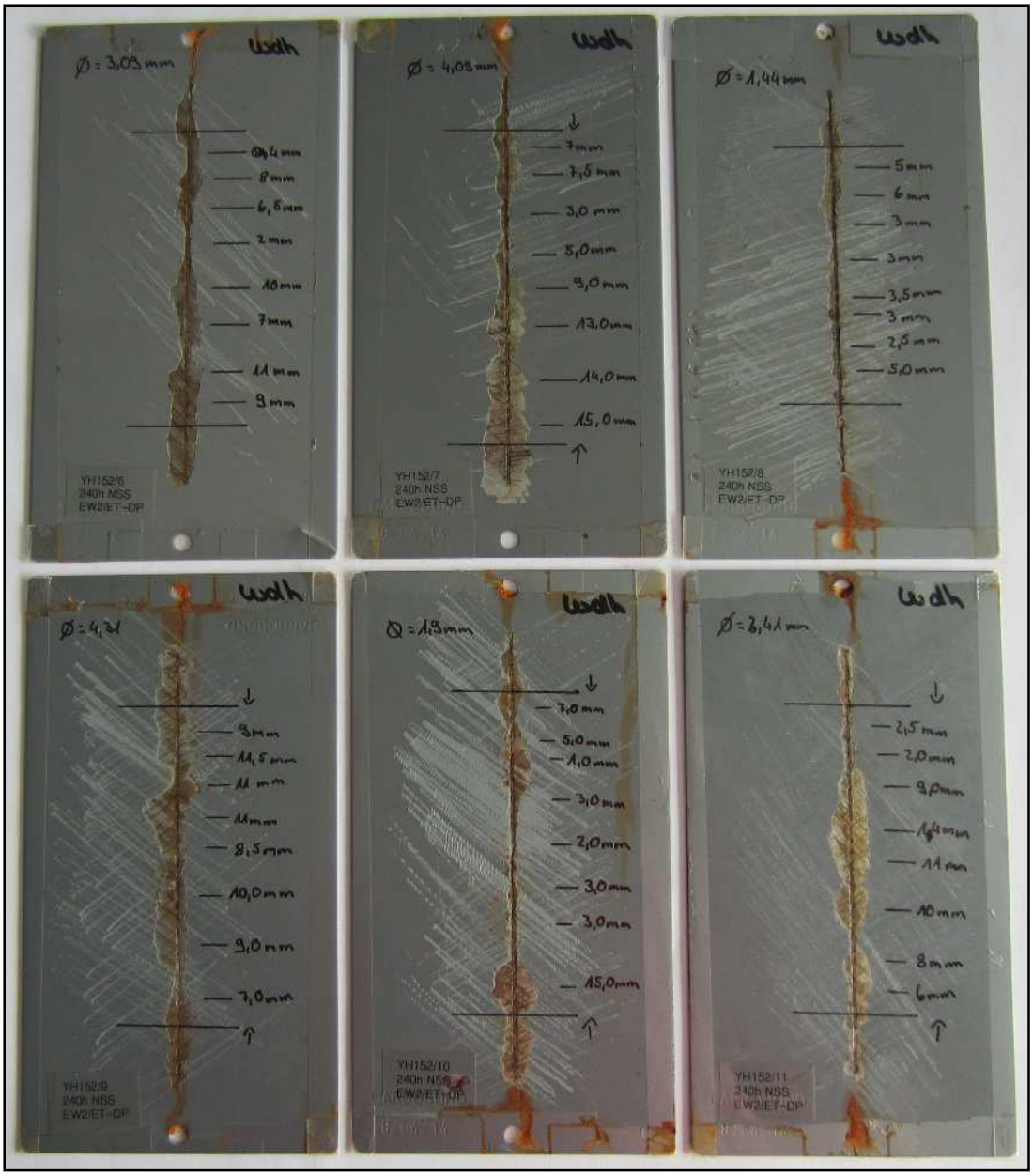


Abbildung 3: Salzsprühtestergebnisse nach 240h mit Zinkflake TV, AT und G.

Labornummer	Info	Unterwanderung am Schnitt nach 240h Prüfdatum: 21.03. - 31.03.2014	Unterwanderung am Schnitt nach 240h Prüfdatum: 16.05. - 26.05.2014	Unterwanderung am Schnitt nach 480h Prüfdatum: 16.05. - 06.06.2014
YH0152/1	Standard Produkt	1,9mm	0,6mm Wdh	6,1mm
YH0152/2	10% Zinkflake GTT	1,8mm	0,5mm Wdh	6,9mm
YH0152/3	30% Zinkflake GTT	0,5mm	1,3mm Wdh	31,0mm
YH0152/4	20% Zinkflake GTT	0,5mm	1,7mm Wdh	19,3mm
YH0152/5	5% Zinkflake GTT	0,0mm	0,8mm Wdh	6,8mm
YH0152/6	5% Zinkflake TV	-	3,1mm	17,9mm
YH0152/7	10% Zinkflake TV	-	4,1mm	16,5mm
YH0152/8	5% Zinkflake AT	-	1,4mm	14,7mm
YH0152/9	10% Zinkflake AT	-	4,3mm	26,4mm
YH0152/10	5% Zinkflake G	-	1,9mm	11,1mm
YH0152/11	10% Zinkflake G	-	3,4mm	8,7mm

Tabelle 2: Salzsprühtestergebnisse nach 240h.

Bei einigen Versuchen mit den hohen Konzentration an Zinkflakes konnte keine ausreichend hohe Schichtdicke erzielt werden. Diese Produkte wurden heiß beschichtet, so dass eine Abprüfung dieser Versuche trotzdem möglich war. Für die weiteren Versuchsreihen wurden daher die hohen Konzentrationen aufgrund der vorangegangenen Problematik nicht mehr mit untersucht.

Mit den Zinkflake GTT- Varianten wurden Wiederholungsversuche gemacht, um die guten Ergebnisse aus dem ersten Testlauf zu bestätigen. Parallel wurden die Versuche mit den anderen Zinkflaketypen gestartet. Hier wurde allerdings aufgrund der Erkenntnisse der ersten Versuche nur noch die Konzentrationen 5% und 10% eingesetzt. Die Wiederholungsversuche der ersten Versuchsreihe waren zum Teil deutlich schlechter als im ersten Durchgang, einzelne Versuche jedoch etwas besser. Auch der Wiederholungsversuch des Standardproduktes lieferte ein sehr gutes Ergebnis. Die bisher durchgeführten Versuche 1 bis 11 wurden aufgrund der schwankenden Ergebnisse nochmals wiederholt.
Zusätzlich wurden noch Untersuchungen bei 480h Salzsprühtest durchgeführt, die allesamt schlechtere Ergebnisse als das Standardmaterial zeigten. Aufgrund der Schwierigkeit reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten wurde ein breit angelegtes Wiederholungsprogramm initiiert. Dem hohen Prüfaufwand geschuldet, wurde das Programm zunächst nur mit dem am besten untersuchten System Standard Zinkflake GTT mit 5% und 10% durchgeführt. Die groben Zinkflakes AT und TV werden aufgrund der schlechten ersten Ergebnisse im Folgenden auch nicht weiter berücksichtigt. Es wurden je Probe 5 Testbleche geprüft, gleichzeitig wurde Material frisch gebondet, um evtl. Einflüsse des Bondingprozesses bzw. die Lagerstabilität der bereits gebondeten Proben zu überprüfen.

Die Wiederholungsprüfungen mit Zinkflake GTT waren alle in Summe deutlich besser als das Standardsystem ohne Korrosionsschutzpigment. Eine Differenzierung nach 240h zwischen den Systemen ist aufgrund der streuenden Ergebnisse und der bis dato geringen Schädigung nicht möglich. Nach 480h kann zwischen den Systemen besser differenziert werden, auch wenn die Streuung der Werte zunimmt, die bezeichnenderweise bei der Nullprobe am größten war.

Eine Abhängigkeit in Bezug auf die Lagerstabilität, sprich eine deutlich schlechtere Korrosionsschutzwirkung der alten Chargen ist nicht erkennbar, d.h. ein Lagerstabilitätsproblem kann ausgeschlossen werden. Eine Abhängigkeit von der Güte des Bondingprozesses ist nicht gänzlich auszuschließen, auch wenn es anhand der Zyklonstabilität nicht nachweisbar ist. Hierzu könnten weiterführende analytische Untersuchungen an den beiden 10%igen Chargen in Erwägung gezogen werden (bildgebende Methoden). Innerhalb des Berichtzeitraums konnten diese Untersuchungen aber nicht abgeschlossen werden.

Versuchsnummer	240h NSS	480h NSS	Eingesetzte Zinklamellen
	UW in mm	UW in mm	
YH0152/1	1,00	8,80	Basis / 0-Probe
YH0152/1	0,27	7,10	Basis / 0-Probe
YH0152/1	0,88	5,00	Basis / 0-Probe
YH0152/1	0,59	3,30	Basis / 0-Probe
YH0152/1	0,56	4,80	Basis / 0-Probe
Durchschnitt	**0,66**	**5,80**	**Basis / 0-Probe**
YH0152/2	0,13	1,70	10% Zinkflake GTT - alte Charge
YH0152/2	0,41	2,20	10% Zinkflake GTT - alte Charge
YH0152/2	0,09	2,10	10% Zinkflake GTT - alte Charge
YH0152/2	0,09	2,30	10% Zinkflake GTT - alte Charge
YH0152/2	0,09	2,00	10% Zinkflake GTT - alte Charge
Durchschnitt	**0,16**	**2,06**	**10% Zinkflake GTT - alte Charge**
YH0152/2	0,53	4,30	10% Zinkflake GTT - neue Charge
YH0152/2	0,28	3,10	10% Zinklfake GTT - neue Charge
YH0152/2	0,56	3,30	10% Zinkflake GTT - neue Charge
YH0152/2	0,41	4,00	10% Zinkflake GTT - neue Charge
YH0152/2	0,19	3,30	10% Zinkflake GTT - neue Charge
Durchschnitt	**0,39**	**3,60**	**10% Zinkflake GTT - neue Charge**
YH0152/5	0,22	2,50	5% Zinkflake GTT - alte Charge
YH0152/5	0,38	4,40	5% Zinkflake GTT - alte Charge
YH0152/5	0,19	3,10	5% Zinkflake GTT - alte Charge
YH0152/5	0,09	3,70	5% Zinkflake GTT - alte Charge
YH0152/5	0,19	3,00	5% Zinkflake GTT - alte Charge
Durchschnitt	**0,21**	**3,34**	**5% Zinkflake GTT - alte Charge**
YH0152/5	0,53	2,40	5% Zinkflake GTT - neue Charge
YH0152/5	0,22	3,10	5% Zinkflake GTT - neue Charge
YH0152/5	0,41	3,70	5% Zinkflake GTT - neue Charge
YH0152/5	0,13	3,10	5% Zinkflake GTT - neue Charge
YH0152/5	0,47	2,80	5% Zinkflake GTT - neue Charge
Durchschnitt	**0,35**	**3,02**	**5% Zinkflake GTT - neue Charge**

Tabelle 3: Salzsprühtestergebnisse 240h diverser Systeme

Metallphosphate

Die nächsten Versuche wurden mit den Heucophos und Heucosil Korrosionsschutzpigmenten von der Firma Heubach durchgeführt. Diese Pigmente funktionieren über den passiven Korrosionsschutz. Folgende Pigmente wurden uns von der Firma Heubach für den Einsatz im Bereich Pulverlacke empfohlen:

- Heucophos ZAM Plus: organisch modifiziertes Zink-Aluminium-Orthophophat-Hydrat
- Heucophos ZCP Plus: Zink-Calcium-Strontium-Orthophosphat-Silicat-Hydrat
- Heucophos SAPP: Strontium-Aluminium-Polyphosphat-Hydrat
- Heucosil CTF: Zink-freies Calcium-modifiziertes Silikagel

Diese 4 unterschiedlichen Korrosionsschutzpigmente wurden in den Konzentrationen 5% und 10% auf das obengenannte Basismaterial aufgebondet.

Labornummer	Info	Unterwanderung am Schnitt nach 240h Prüfdatum: 27.06. - 07.07.2014	Unterwanderung am Schnitt nach 480h Prüfdatum: 23.6. - 14.7.2014	Unterwanderung am Schnitt nach 240h Prüfdatum: 18.07. - 28.07.2014	Unterwanderung am Schnitt nach 480h Prüfdatum: 14.7. - 04.8.2014
YH0152/1	Standard Produkt	1,9mm	6,1mm	1,9mm	6,1mm
YH0152/12	5% Heucophos ZAM Plus	0,9mm	4,5mm	-	-
YH0152/13	10% Heucophos ZAM Plus	-	-	0,3mm	3,5mm
YH0152/14	5% Heucophos ZCP Plus	1,5mm	8,1mm	-	-
YH0152/15	10% Heucophos ZCP Plus	-	-	0,1mm	6,4mm
YH0152/16	5% Heucophos SAPP	1,0mm	5,6mm	-	-
YH0152/17	10% Heucophos SAPP	-	-	0,8mm	6,9mm
YH0152/18	5% Heucosil CTF	1,8mm	21,6mm	-	-
YH0152/19	10% Heucosil CTF	-	-	Die Menge an Heucosil CTF war viel zu hoch. Diese Menge konnte nicht mehr auf das Basismaterial aufgebondet werden. Aus diesem Grund konnten diese Versuche nicht durchgeführt werden.	

Tabelle 4: Salzsprühtestergebnisse nach 240h.

Nach 240h und 480h liefern die eingesetzten Zinkphosphate mit 10% Einsatzmenge ähnliche, zum Teil bessere Ergebnisse als die Zinkflake-Systeme. Eine genaue Differenzierung zu anderen Korrosionsschutzpigmenten und zum Standard wäre nur im direkten Vergleich möglich, das Standardsystem ist mit dem zu diesem Zeitraum erzielten Wert als Anhaltspunkt mitaufgeführt. Das beste Ergebnis konnte mit Heucophos ZAM Plus erzielt werden. Mit Heucophos ZAM Plus konnte auch eine deutliche Verbesserung zum Standardprodukt erzielt werden.

Modifizierte Kieselsäuren

Die nächste zu untersuchende Gruppe an Korrosionsschutzpigmenten umfasst die Produktgruppe Shieldex der Firma Grace und die Inhibisil-Typen der Firma PPG Silica. Diese modifizierten Silicateilchen (Kieselsäuren/Ionenaustauscher) funktionieren über einen passiven Korrosionsschutz über zwei postulierte Wirkmechanismen. Erstens über eine Passivierung über Metallkationen aus dem Ionenaustauscher auf der Eisenoberfläche und zweitens durch die Adsorption schädlicher Kationen.

Labornummer	Info	Unterwanderung am Schnitt nach 240h Prüfdatum: 18.07. - 28.07.2014	Unterwanderung am Schnitt nach 480h Prüfdatum: 14.07. - 04.08.2014
YH0152/1	Standard Produkt	1,9mm	6,1mm
YH0152/20	5% Shieldex AC-5	0,3mm	1,4mm
YH0152/21	10% Shieldex AC-5	0,1mm	4,8mm
YH0152/22	5% Shieldex CS 311	0,1mm	2,8mm
YH0152/23	10% Shieldex CS311	3,7mm	13,9mm
YH0152/24	5% Inhibisil 33	0,7	1,9mm
YH0152/25	10% Inhibisil 33	0,6	2,5mm
YH0152/26	5% Inhibisil 75	0,7	1,9mm
YH0152/27	10% Inhibisil 75	War aufgrund der geringen Dichte nicht durchführbar.	

Tabelle 5: Salzsprühtestergebnisse

Die Versuche weisen, mit Ausnahme von Versuch 23 (10% Shieldex CS311), eine deutlich verbesserte Korrosionsbeständigkeit auf. Die Type AC-5 ist wirksamer als CS311. Eine Einsatzmenge von 5% ist ausreichend, bei Zusatz von 10% scheint die Wirkung sogar wieder gegenläufig zu sein.

Die Versuche mit Inhibisil gleichen den Versuchen mit den Shieldex-Typen, auch hier sind die Versuche mit 5% besser als die mit 10%. Die schlechteren Ergebnisse bei „Überdosierung“ sind im Korrosionsschutzergebnis nicht so ausgeprägt, wie bei den Shieldex-Typen.

Kombinationsversuche

Heucophos ZAM Plus mit Harzsiegel F (Zinkoxid)

Labornummer	Info	Unterwanderung am Schnitt nach 240h Prüfdatum: 24.10. - 03.11.2014	Unterwanderung am Schnitt nach 480h Prüfdatum: 24.10. - 14.11.14
YH0152/1	Standard Produkt	1,9mm	6,1mm
YH0152/28	5% Heucophos ZAM Plus : Harzsiegel F 8:1	0,8mm	3,0 mm
YH0152/29	10% Heucophos ZAM Plus : Harzsiegel F 8:1	0,1mm	2,8mm

Tabelle 6: Salzsprühergebnisse nach 240h

Die Kombination von Heucophos ZAM Plus und Harzsiegel F ist eine Empfehlung des Rohstofflieferanten als effektives Korrosionsschutzsystem. Es sind deutliche Synergien zu erkennen. Eine Reduzierung der Einsatzmenge ist somit möglich.

Abschlußvergleich

Zum Abschluss der Korrosionsschutzthematik wurden jeweils die Favoriten bezüglich Korrosionsschutz, Einarbeitung, Optik, usw. in einer externen Versuchsreihe untersucht. Aus Kapazitätsgründen wurde die Prüfung zu einem externen Prüflabor eines Lieferanten ausgelagert.

Versuchsnummer	240h NSS	480h NSS	Eingesetzte Zinklamellen
	UW in mm	UW in mm	
YH0152/1	1,90	6,20	Basis / 0-Probe
YH0152/2	2,10	5,50	10% Zinkflake GTT
YH0152/5	1,60	5,50	5% Zinkflake GTT
YH0152/6	0,90	4,40	5% Zinkflake TV
YH0152/13	1,20	2,80	10% - Heucophos ZAM Plus
YH0152/20	0,50	3,00	5% - Schieldex AC-5
YH0152/22	0,80	3,20	5% - Shieldex CS 311
YH0152/24	0,70	3,40	5% - Inhibisil 33
YH0152/26	0,80	3,80	5% - Inhibisil 75
YH0152/28	0,60	3,10	4,4% Heucophos ZAM Plus + 0,6% Harzsiegel F

Tabelle 7: Salzsprühtest verschiedener Korrosionsschutzsysteme.

Wie aus den gesamten Voruntersuchungen schon ersichtlich, haben die Zinkflake-Typen einen nur mäßig positiven Einfluss auf die Korrosionsschutzbeständigkeit und sind daher nicht die erste Wahl für einen gebondeten Korrosionsschutz. Heucophos ZAM Plus, alleinig oder in Kombination mit Harzsiegel F und Shieldex AC-5 werden für zukünftige Projekte im Korrosionsschutzsektor eingesetzt.

Katalyse

Zu diesem Thema war es schwierig ein geeignetes System als Basis zu finden, das in mit einem verträglichen Katalysatorsystem katalysiert werden kann. Als Basisrezeptur wurde bereits die aus den Korrosionsschutzuntersuchungen bekannte Basisrezeptur verwendet.

Versuchsnummer	Katalysator	Zugabemenge	Erichssentiefung			Gelierzeit	Tablettenablauf	Gitterschnitt		
			140°C	160°C	180°C			140°C	160°C	180°C
		[%]	[mm]			[s]	[mm]	[GT]		
Basis - 68229	-	-	0,3	9,5	>10	356	62	GT3	GT0	GT0
IFJ017/01	Z0084	0,1	0,3	6,9	8,5	298	52	GT4	GT0	GT0
IFJ017/02	Z0084	0,5	0,3	9,5	>10	171	39	GT2	GT0	GT0
IFJ017/03	Curezol C17Z	0,5	0,3	>10	>10	244	50	GT3	GT0	GT0
IFJ017/04	Curezol C17Z	1,5	0,4	>10	>10	158	39	GT1	GT0	GT0

Die aufgebondeten Katalaysatoren verursachen Nadelstich-ähnliche Oberflächenstörungen, eine höhere Zugabemenge führt zu entsprechend stärkeren Oberflächenstörungen. Bei der Erichsentiefung reist der Film an den Oberflächenstörungen sofort auf, der "ungestörte" Film reist später. Die Reaktionszeit wird beschleunigt während die Schmelzviskosität verringert wird. Eine Verbesserung der Technologischen Eigenschaften bei geringeren Einbrenntemperaturen ist nicht gegeben.

Fazit

Das Thema SMART-Bonding wird bei der Firma WÖRWAG weiterverfolgt werden, schon aus dem Grund, weil die theoretisch denkbaren Vorteile so vielversprechend sind. Mit den ersten in diesem Projekt durchgeführten Versuchen sind zwar keine serientauglichen Eigenschaftsverbesserungen gefunden worden, es konnte aber gezeigt werden, dass es prinzipiell möglich ist Stoffe mit bestimmten Eigenschaftsprofil auf die Pulverteilchenoberfläche sicher zu bonden.
Auch konnte im Bearbeitungszeitraum nicht das komplette geplante Programm durchgeführt werden, weil die gute Auftragslage im Bereich des Effektpigmentbondings keine zusätzlichen Arbeiten zugelassen hat.
Der Flaschenhals ist hierbei nicht die Personalsituation, sondern die Belegung der Laborbondingmaschine, d.h. die serienbegleitenden Arbeiten haben nur wenige Smartbondingversuche zugelassen. Ein Mehrschichtbetrieb ausserhalb der Kernzeiten konnte aufgrund von Sicherheitsvorschriften nicht implementiert werden.