

Anlage zum Abschlussbericht

Die wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse

Die zur Erreichung des Projektzieles vorgesehenen Arbeitspakete sowie der aktuelle Bearbeitungsstand zum Zeitpunkt der Erarbeitung der Projektabschlussunterlagen sind in nachfolgender Übersicht zusammengestellt:

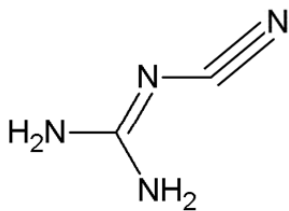
Tabelle 1: Arbeitspakete und deren zeitliche Einordnung

Nr.	Titel des Arbeitspakets	Zeitraum	Federführung	Bearbeitungsstand
AP 1	Literaturrecherche und Marktanalyse	II.+III.Q. 2012	alle Partner	abgeschlossen
AP 2	Erarbeitung einer detaillierten Aufgabenstellung und von Ablaufplänen	II.-IV.Q. 2012	alle Partner	abgeschlossen
AP 3	Konzeptionelle Arbeiten zum Korrosionsmechanismus und zur Pulverlackformulierung	II.Q 2012 - I.Q. 2013	IKS und ZAFT	Weiterführung auch nach Projektabschluss
AP 4	Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Stähle	III.Q. 2012 - II.Q. 2013	alle Partner	abgeschlossen
AP 5	Untersuchung der Oberflächenvorbereitung Strahlen, Prinzipuntersuchungen zum Strahlen	IV.Q. 2012 - I.Q. 2014	ZAFT, Torwerk und IKS	abgeschlossen
AP 6	Untersuchung der Oberflächenvorbereitung (nasschemisch), Prinzipuntersuchungen zur Vorbehandlung	IV.Q. 2012 - II.Q. 2014	ZAFT, B&H und IKS	abgeschlossen
AP 7	Entwicklung praxistgerechter Musterbauteile unter Berücksichtigung kritischer Bauteilgeometrien	III.Q. 2012 - II.Q. 2014	alle Partner	abgeschlossen
AP 8	Erarbeitung von Prüfregimen, Belastung und Prüfung von Musterplatten und Musterbauteilen	II.Q. 2012 - II.Q. 2014	alle Partner	abgeschlossen
AP 9	Konzeptionelle Arbeiten zur Vorbereitung/Vorbehandlung und Applikation neuentwickelter Pulverlackformulierungen	IV.Q. 2012 - IV.Q. 2014	alle Partner	abgeschlossen
AP 10	Entwicklung verschiedener Schichtaufbauten unter unterschiedlichen Belastungen und unter Praxisbedingungen	III.Q. 2013 - IV.Q. 2014	alle Partner	abgeschlossen
AP 11	Auslagerung von Musterbauteilen und Prüfplatten, Freibewitterung, Betreuung der Außenversuche	III.Q. 2012 – I.Q. 2015	alle Partner	Weiterführung auch nach Projektabschluss
AP 12	Grundlegende Untersuchungen zu Korrosionsmechanismen bei Verletzung von Beschichtungen	III.Q. 2012 - I.Q. 2015	IKS und ZAFT	abgeschlossen
AP 13	Erarbeitung einer Reparaturtechnologie mit Flüssigbeschichtungsstoffen auch unter praxisrelevanten Gesichtspunkten und Austestung	III.Q.2013 – I.Q. 2015	alle Partner	abgeschlossen
AP 14	Vergleichende Untersuchungen mit ausgasungsarmen neuentwickelten Pulverformulierungen auf stückverzinkten Stahl, Prüfung, Auslagerung und Betreuung der Freiversuche	III.Q. 2012 – I.Q. 2015	alle Partner	abgeschlossen
AP 15	Ermittlung und Bearbeitung von Anwenderempfehlungen und Anwendervorschriften	I.Q. 2015	B&H, ZAFT und Torwerk	noch in Bearbeitung
AP 16	Zwischenauswertung, Endauswertung, Berichterstattung	März 2013 März 2014 März 2015	alle Partner	planmäßig

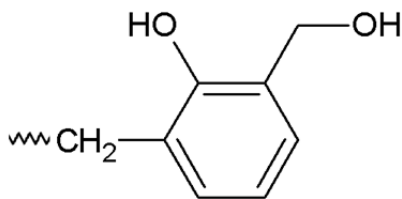
1 Genesis von Pulverlacken

Da Standardpulverlackssysteme zurzeit nicht die Anforderungen der Zielstellung des Projektes – höchste korrosive Anforderungen ohne Verwendung von Feuerzinküberzügen entsprechend den etablierten Duplexsystemen - erfüllen, war eine der vordringlichsten Aufgabenstellung des Forschungsthemas die Neumformulierung von Grundierpulvern. Diese Pulverentwicklungen waren vor allem für Substrate mit einer Oberflächenvorbereitung durch Strahlen relevant. Die Ergebnisse dieser Entwicklungen flossen aber auch in den umfangreichen Themenkomplex der nasschemischen Oberflächenvorbehandlung mit ein. Für die Arbeitspakete, die die nasschemische Vorbehandlung betreffen, wurden im Laufe der Grundierpulvergenese ausgewählte Pulverentwicklungen eingesetzt, die sich bis dahin bereits durch gute bis sehr gute Werte auszeichneten.

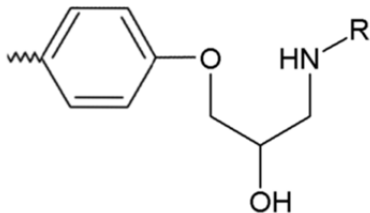
Formulierungen von Pulvergrundierungen im Rahmen des Forschungsthemas (Härtervarianten) und deren Verwendung in den Versuchsserien:



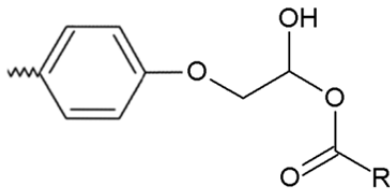
Aminischer Härter
(Dicyandiamid)
Verwendung in den Versuchsserien



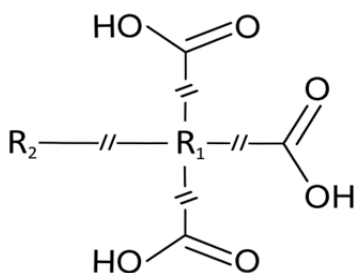
Phenolischer Härter
(Resol)
Verwendung in den Versuchsserien



Vernetzung mit Aminen



Vernetzung mit carbonsäure-haltigen Polymeren

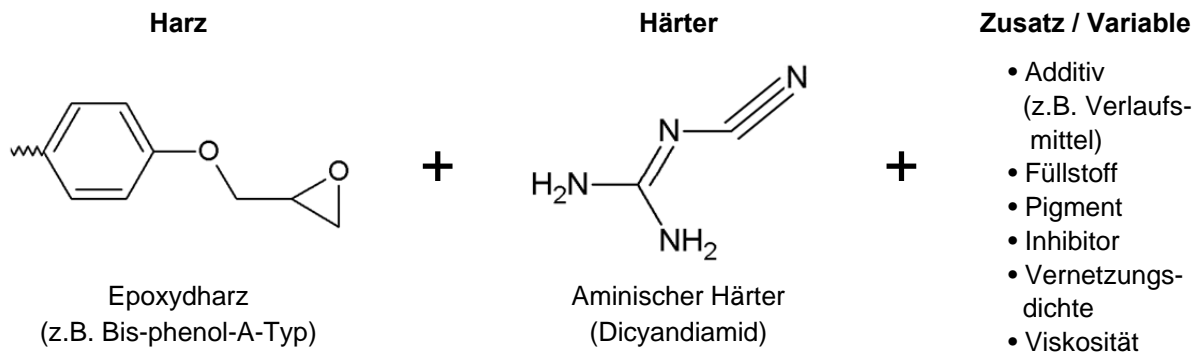


Vernetzung mit carbonsäure-haltigen Polymeren
(Formulierung als MEP)
Verwendung in den Versuchsserien

Grundsätzlich wurde bei der Projektbearbeitung davon ausgegangen, dass ein zweischichtiges Pulversystem appliziert werden muss. Da für die Korrosionsschutzwirkung vornehmlich die Pulvergrundierung verantwortlich zeichnet (Permeation durch Barriereigenschaften, Haftfestigkeit durch Vernetzung und Einsatz korrosionsinhibierender Substanzen), wurden beim assoziierend mitarbeitenden AKZO-Nobel-Konzern ca. 100 Pulvergrundierungen neuformuliert, von denen schließlich 18 innerhalb des Projektes in insgesamt 8 Versuchsserien von den Projektpartnern sowohl unter Praxisbedingungen als auch unter Laborbedingungen ausgetestet wurden. Dazu wurde die Vielzahl der Proben normgerecht Belastungen und Prüfungen ausgesetzt.

Als Deckpulver diente bei allen Versuchsserien das Standard – Polyesterpulver SA J 16 G. Das Produkt ist glänzend, besitzt den Farbton RAL 9016 (Verkehrsweiß) und verfügt über GSB- und Qualicoat-Zulassung.

Grundlegender Aufbau der entwickelten und getesteten Pulvergrundierungen (hier am Beispiel der Epoxydharze vom Bis-phenol-A-Typ, Dicyandiamid gehärtet):



Die korrosionsinhibierenden Eigenschaften der Pulvergrund-Entwicklungen im Rahmen des Forschungsthemas werden im Wesentlichen durch den Einsatz von Additiven und Füllstoffen bewirkt. Auf Grund der Tatsache, dass Pulverlacke durch die Abwesenheit von Lösungsmitteln (in ihrer Liquid-Phase) eine relativ hohe Oberflächenspannung aufweisen, ist der Reinigung und Vorbehandlung / Vorbereitung der zu beschichtenden und zu schützenden Substrate besondere Aufmerksamkeit zu widmen, um eine mangelhaften Benetzung der Metalloberflächen zu umgehen. Schlechte Benetzungen führen in der Regel auch zu Haftungsproblemen und somit auch zur Korrosionsneigung (Unterostung).

Füllstoffe und Korrosionsschutzpigmente hemmen oder verhindern in Grundierungen in der Regel durch physikalische, physikalisch-chemische oder chemische Wirkung die Korrosion von Metalloberflächen. Die physikalische Schutzwirkung von Füllstoffen und Pigmenten beruht im Allgemeinen auf ihrer Barriere Wirkung und durch ihre Verlängerung der Diffusionswege von Atmosphärien im Pulverlack.

Bei der Entwicklung der Pulverformulierungen spielten bei zunehmendem Projektfortschritt Korrosionsschutzpigmente, wie z.B. Eisenglimmer, eine zentrale Rolle. Eisenglimmer-Pigment ist ein gereinigtes Mineral (Hämatit, Fe₂O₃) und weist eine ausgeprägte Schuppenstruktur auf. Die korrosionsschützende Wirkung von Eisenglimmer beruht ausschließlich auf seiner Barriere Wirkung.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Pulvergrund-Neuformulierungen im Themenrahmen dargestellt:

Tabelle 2 Projektseitig ausgetestete Pulvergrundierungen

Pulver-neuentwicklung	Versuchs-serie	Harz	Härter	Vernetzungs-dichte	Viskosität	Additionen
Standard	1	Bis-A	DICY		höher	1 ; 1
1	1		Matthärter		höher	
2	2+3	Bis-A	DICY		höher	1 ; 1
3	2	Epoxy	phenolisch		höher	1 ; -1
4	4	Bis-A	DICY		geringer	1
5	4	Bis-A	DICY		geringer	2 ; +5
6	4	Bis-A	DICY		geringer	1 ; +5
7	4	Bis-A	DICY	höher	geringer	1 ; +5
8	4	Bis-A	DICY	niedriger	geringer	1 ; +5
9	6	Hybrid	Poly			
10	6	Hybrid	Poly			
11	6	Bis-A	DICY		geringer	1 ; +1
12	6	Bis-A	DICY		geringer	1 ; +4
13	6	Bis-A	DICY		geringer	1 ; 1 ; 6
14	6	Bis-A	DICY		geringer	1 ; +8
15	6	Bis-A	DICY		noch geringer	1
16	6	Bis-A	DICY		geringer	2 +7
17	6	Bis-A	DICY		noch geringer	7+8 ; 1 ; 4 ; 6
18	6	Bis-A	DICY		geringer	1 ; +7

Im Laufe der Entwicklungsarbeiten wurde mit unterschiedlichen Füllstoffen, Inhibitoren und Additiven in unterschiedlichen Konzentrationen gearbeitet, und die Korrelation zwischen den gegensätzlichen Wirkprinzipien Vernetzungsdichte und Haftfestigkeit (Unterwanderung am Ritz) wurde dadurch optimiert.

Die in der obigen Tabelle aufgeführten Pulvergrundierungen wurden entsprechend den umfangreichen Kompletprogrammen in den Versuchsserien belastet, geprüft und bewertet.

Dabei zeigten bisher die entwickelten Systeme 2, 4 und 6 und vor allem 17 mit Unterwanderungen am Ritz $\leq 2\text{mm}$ bei Vorbereitung und Unterwanderung am Ritz $\leq 0,4\text{mm}$ bei Vorbehandlung die besten Ergebnisse.

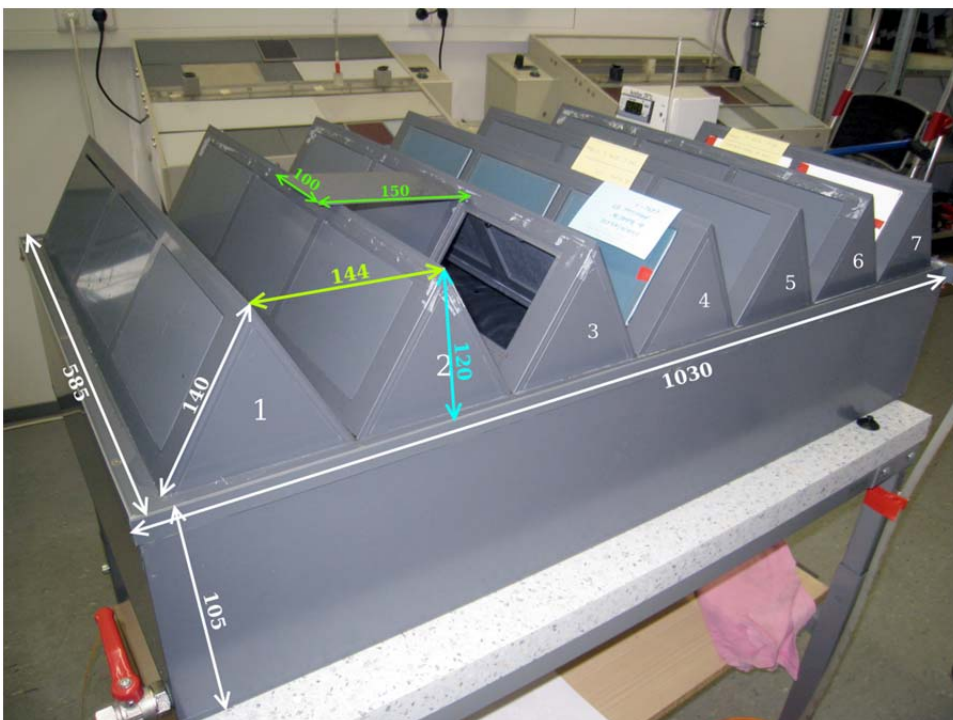
2 Gerätetechnische Neuentwicklung beim Projektpartner ZAFT

Das Gerät ermöglicht die Bestimmung der Beständigkeit von Beschichtungen und von Beschichtungssystemen unter den Bedingungen hoher Feuchtigkeit. Der Test ist ein wichtiger Bestandteil der Prüfungen und Belastungen im Projektrahmen und dient zur Bewertung der Kondenswasserkonstantklimabeständigkeit für die projektseitig neuentwickelten Pulverlacksysteme.

Das Gerät besteht aus einem beheizten Wasserbad, in dessen Abdeckung die Probepplatten und/oder Abdeckplatten eingelegt werden. Über dem Wasserbad bildet sich im Gerät eine gesättigte Dampfphase heraus. Das Gerät am ZAFT wurde so gebaut, dass es für Prüfplatten und/oder Abdeckplatten der Größe 100x150x (höchstens) 3,5 mm geeignet ist (Größe der meisten im Projekt hergestellten Prüfplatten). Die Prüfplatten liegen in einem Winkel von 60° zur Horizontalen auf. Damit ist gewährleistet, dass das Kondenswasser ungehindert ablaufen kann. Entlang des Probenquerschnitts bildet sich ein Temperaturgradient aus, da die Probenrückseite Normalklima (23°C, 50% RLF) ausgesetzt ist.

Prüfbedingungen:

- Temperatur des Wasserbades: 38°C
- Prüfdauer: 720 Stunden, Zwischenauswertung nach 480 Stunden
- Beschichtung der Platten: beidseitig

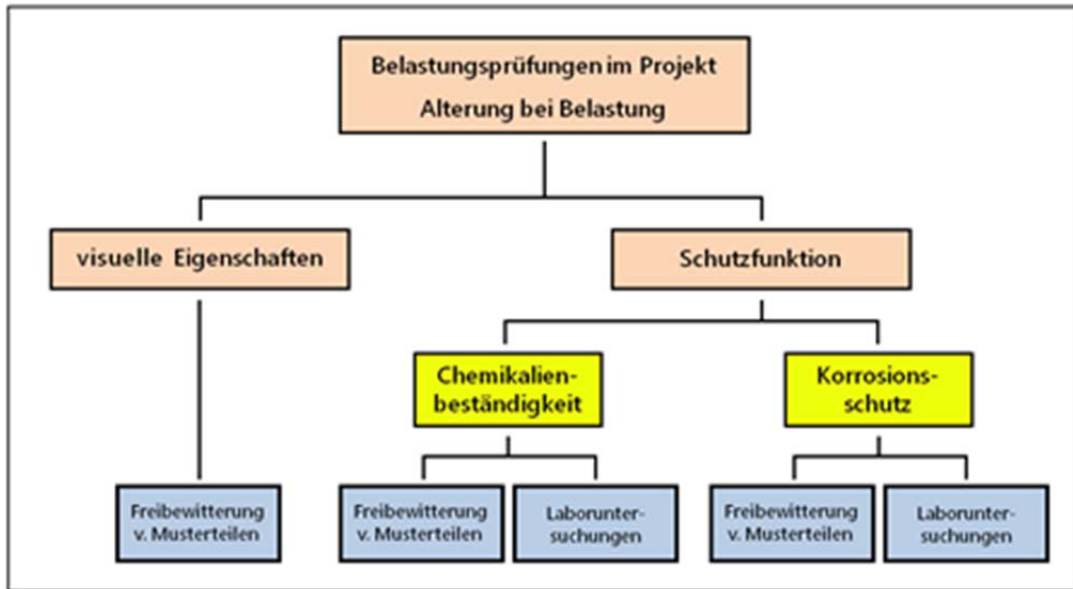


Kondenswasserkonstantklima – Projektseitig entwickeltes Testgerät beim Projektpartner ZAFT

3 Untersuchungsmethoden und Forschungskomplex

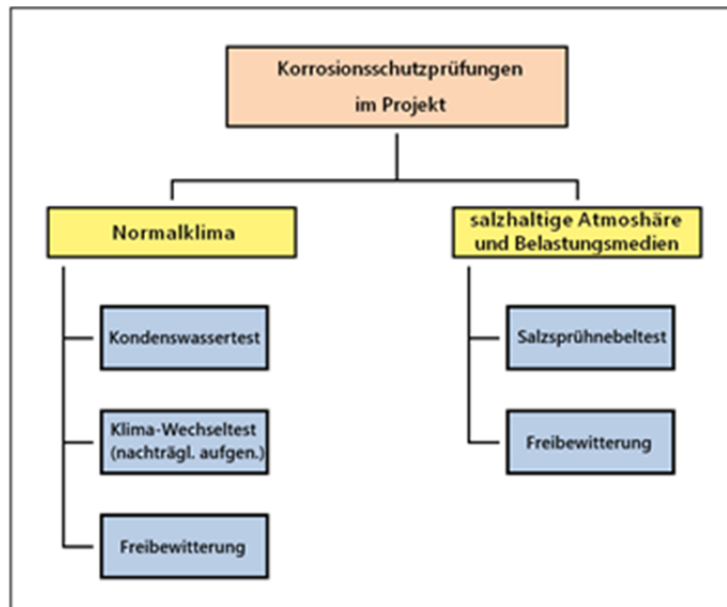
Alterungsprüfungen

Bei der Auswahl und Festlegung der Alterungsprüfungen der entwickelten und geprüften Pulverlacksysteme stand die Schädigung der Schutzfunktion (Blasenbildung, Rissbildung, Enthftung mit nachfolgender Schädigung des Substrates) im Vordergrund und nicht die Beeinträchtigung der visuellen Eigenschaften (Farbtonverschiebungen, Glanzabfall, Kreidung).



Übersicht über die Alterungsprüfungen im Projekt

Funktionsbezogene Veränderungen durch Belastung und Alterung der im Projekt entwickelten und untersuchten Pulverlacksysteme:



Übersicht über die Korrosionsschutzprüfungen im Projekt

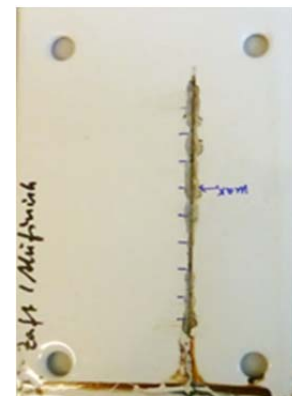
4 Nasschemische Vorbehandlung

Alternativ-Vorbehandlungssysteme von SurTec und Alufinish

Prüfplatten: SurTec							
Variante	Nr.	Schichtdicke		Nullprobe Gitterschnitt	Kondens wassertest 720 h	neutraler Salzsprühnebeltest, 1440 h; Unterwanderung am Ritz	
1	1	84	± 17			3,3	± 0,8
	2	79	± 19			2,8	± 0,8
	3	78	± 14		GT 0-1		
	4	84	± 19		GT 0		
	5	81	± 20	GT0			
2	1	85	± 17			1,8	± 0,8
	2	84	± 18			2,5	± 0,9
	3	86	± 17		GT 0		
	4	77	± 12		GT 0		
	5	70	± 19	GT0			

Legende: Variante 1: SurTec 618LT (nickelfreie Mehrionenphosphatierung)

Variante 2: SurTec 609 GV (phosphatfrei)

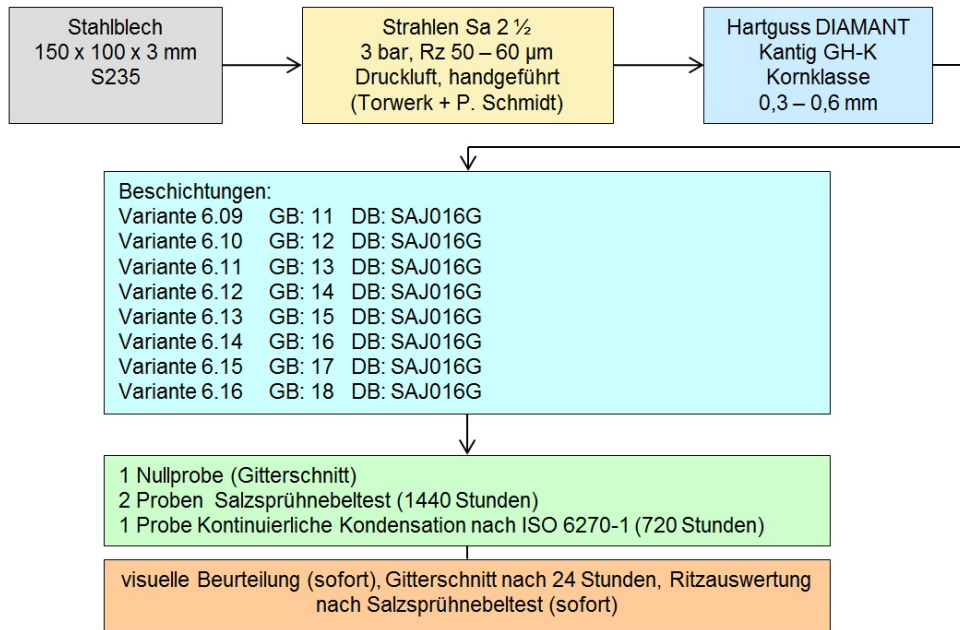


Prüfplatten: Alufinish		
Nr.	Schichtdicke	NSS 1400 h UW am Ritz
1	178 ± 23	2,4 ± 0,8
2	185 ± 15	1,4 ± 0,6

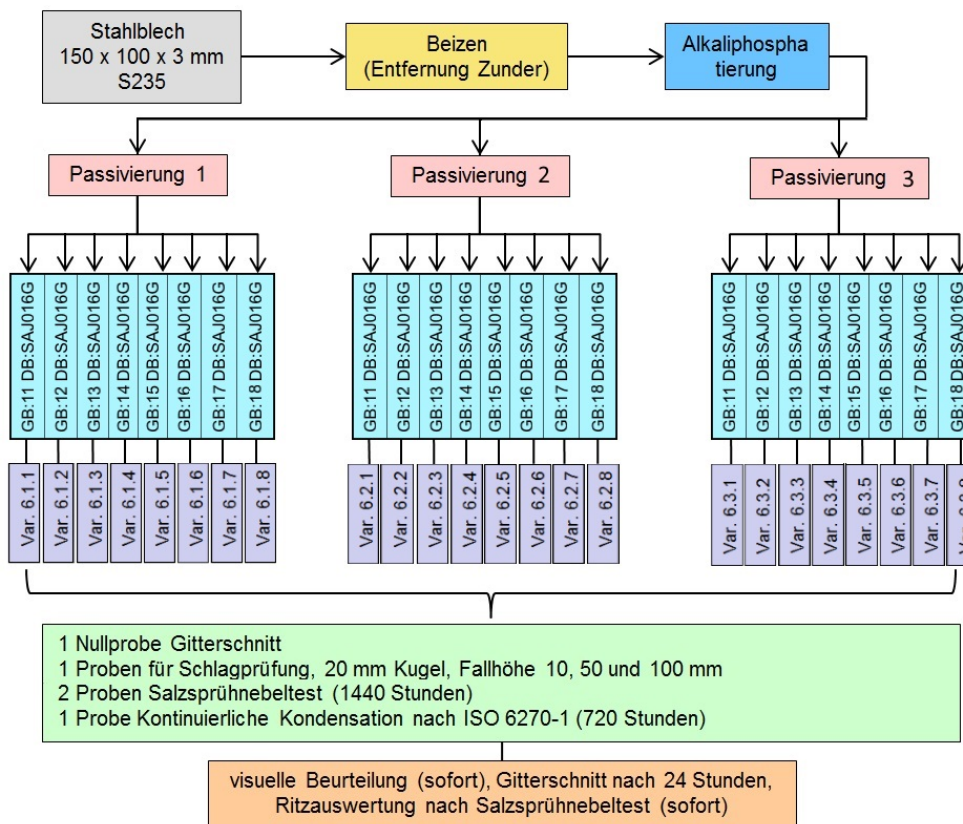
Legende: Alfipas 7816 in Verbindung mit dem ENVIROX SG Verfahren (Sol-Gel-Prozess)

5 Pulverneuentwicklungen Versuchsserie 6

Versuchsschemata Oberflächenvorbereitung und -vorbehandlung



Schema zu Versuchsplan Versuchsserie 6 Torwerk Weimar



Schema zu Versuchsplan Versuchsserie 6 Böhm & Hempel

Ergebnisse zu Versuchsserie 6 Torwerk Weimar - Oberflächenvorbereitung durch Strahlen

Torwerk Weimar	6.09		6.10		6.11		6.12		6.13		6.14		6.15		6.16	
Pulverneuentwicklung	11		12		13		14		15		16		17		18	
Viskosität	geringer		geringer		geringer		geringer		noch geringer		geringer		noch geringer		geringer	
Füllstoff	FS 1		FS 1		FS 1		FS 1		FS 1		FS 2 + FS 7		FS 7 + FS 8		FS 1	
Additionen	1; +1		1; +4		1;1;6		1; +8		1		2 + 7		7 + 8; 1; 4; 7		1; +7	
Salzsprühnebeltest 1440 Stunden																
Proben-Nr.	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Schichtdicke	225 ± 19	178 ± 21	175 ± 19	175 ± 35	199 ± 29	188 ± 8	218 ± 21	207 ± 24	146 ± 12	209 ± 18	171 ± 16	164 ± 19	188 ± 27	205 ± 21	191 ± 25	209 ± 22
Gitterschnitt-Kennwert	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blasengrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Korrosion am Ritz (max.)	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	3,5	3,0
Korrosion am Ritz (MW)	2,0 ± 0,3	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,5	2,3 ± 0,3	2,4 ± 0,4	2,2 ± 0,3	2,4 ± 0,2	2,1 ± 0,4	2,2 ± 0,3	1,8 ± 0,5	2,3 ± 0,5	2,0 ± 0,4	1,5 ± 0,5	1,9 ± 0,4	2,5 ± 0,5	2,0 ± 0,7
Enthftung am Ritz (MW)	2,0 ± 0,3	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,5	2,3 ± 0,3	2,4 ± 0,4	2,2 ± 0,3	2,4 ± 0,2	2,1 ± 0,4	2,2 ± 0,3	1,8 ± 0,5	2,3 ± 0,5	2,0 ± 0,4	1,5 ± 0,5	1,9 ± 0,4	2,5 ± 0,5	2,0 ± 0,7
Kondenswassertest 720 Stunden																
Proben-Nr.	3		3		3		3		3		3		3		3	
Schichtdicke	196 ± 13		173 ± 25		216 ± 18		241 ± 30		168 ± 12		152 ± 17		216 ± 27		185 ± 23	
Gitterschnitt-Kennwert	0		0		0		0		0		0		0		0	
Blasengrad	0		0		0		0		0		0		0		0	
Schlagversuch																
Proben-Nr.	4		4		4		4		4		4		4		4	
Schichtdicke	216 ± 26		202 ± 31		189 ± 22		241 ± 46		166 ± 17		239 ± 35		211 ± 34		184 ± 22	
Fallhöhe 50 cm	i.O.		i.O.		i.O.		i.O.		i.O.		i.O.		i.O.		i.O.	
Fallhöhe 100 cm	i.O.		i.O.		i.O.		i.O.		i.O.		i.O.		Abplatzungen VS		i.O.	
Nullprobe																
Proben-Nr.	5		5		5		5		5		5		5		5	
Schichtdicke	210 ± 29		191 ± 30		186 ± 27		170 ± 17		170 ± 19		220 ± 23		194 ± 21		183 ± 14	
Gitterschnitt-Kennwert	0		0		0		0		0		0		0		0	

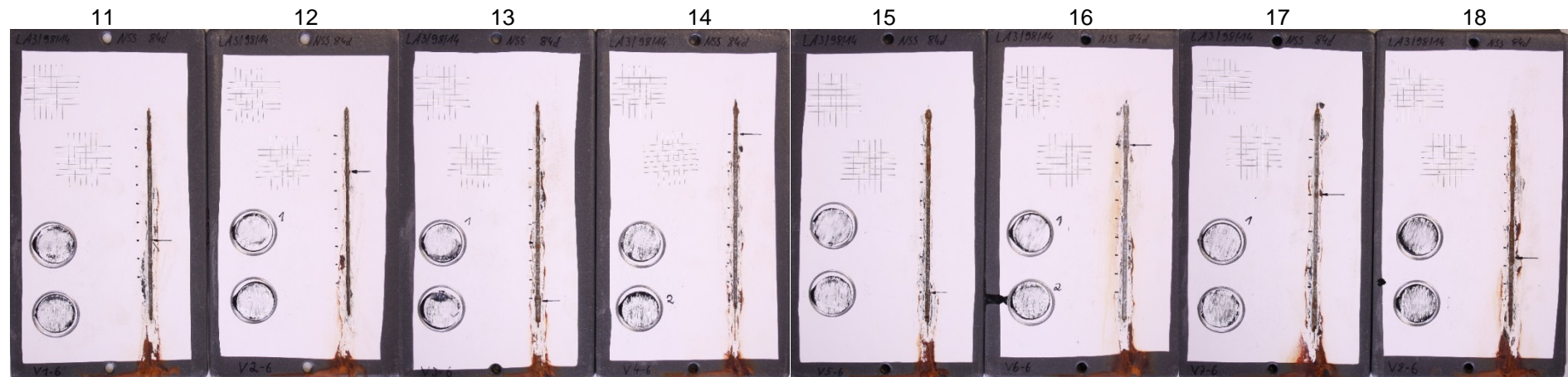
Ergebnisse zu Versuchsserie 6 Böhm & Hempel – Oberflächenvorbehandlung durch Alkaliphosphatierung und unterschiedliche Passivierungsverfahren

Pulverneuentwicklung	11	12	13	14	15	16	17	18
Viskosität	geringer	geringer	geringer	geringer	noch geringer	geringer	noch geringer	geringer
Füllstoff	FS 1	FS 1	FS 1	FS 1	FS 1	FS 2 + FS 7	FS 7 + FS 8	FS 1
Additionen	1; +1	1; +4	1;1;6	1; +8	1	2 + 7	7 + 8; 1; 4; 7	1; +7
Böhm & Hempel	6.1.1	6.1.2	6.1.3	6.1.4	6.1.5	6.1.6	6.1.7	6.1.8
Salzsprühnebeltest 1440 Stunden								
Proben-Nr.			1	2			1	2
Schichtdicke			225 ± 19	178 ± 21			218 ± 21	207 ± 24
Gitterschnitt-Kennwert								
Blasengrad	--	--	volle Enthftung aus Test genommen		--	--	volle Enthftung aus Test genommen	
Korrosion am Ritz (max.)	--	--			--	--	--	--
Korrosion am Ritz (MW)								
Enthftung am Ritz (MW)								
Kondenswassertest 720 Stunden								
Proben-Nr.	3	3	3	3	3	3	3	3
Schichtdicke	196 ± 13	173 ± 25	216 ± 18	241 ± 30	168 ± 12	152 ± 17	216 ± 27	185 ± 23
Gitterschnitt-Kennwert	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 5	GT 0
Blasengrad	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)
Nullprobe								
Proben-Nr.	4	4	4	4	4	4	4	4
Schichtdicke	216 ± 26	202 ± 31	189 ± 22	241 ± 46	166 ± 17	239 ± 35	211 ± 34	184 ± 22
Gitterschnitt-Kennwert	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
Böhm & Hempel	6.2.1	6.2.2	6.2.3	6.2.4	6.2.5	6.2.6	6.2.7	6.2.8
Salzsprühnebeltest 1440 Stunden								
Proben-Nr.		1	2			1	2	
Schichtdicke		268 ± 17	240 ± 33			260 ± 11	224 ± 10	
Gitterschnitt-Kennwert								
Blasengrad	--	volle Enthftung aus Test genommen		--	--	volle Enthftung aus Test genommen		--
Korrosion am Ritz (max.)	--			--	--			--
Korrosion am Ritz (MW)								
Enthftung am Ritz (MW)								
Kondenswassertest 720 Stunden								
Proben-Nr.	3	3	3	3	3	3	3	3
Schichtdicke	344	212	260	194	214	222	270	234
Gitterschnitt-Kennwert	GT 0	GT 0	GT 5	GT 0	GT 5	GT 0	GT 0	GT 5
Blasengrad	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)
Nullprobe								
Proben-Nr.	4	4	4	4	4	4	4	4
Schichtdicke	254	236	314	238	224	206	310	210
Gitterschnitt-Kennwert	GT 0	GT 0	GT 5	GT 5	GT 5	GT 5	GT 0	GT 0
Böhm & Hempel	6.3.1	6.3.2	6.3.3	6.3.4	6.3.5	6.3.6	6.3.7	6.3.8
Salzsprühnebeltest 1440 Stunden								
Proben-Nr.	1	2	1	2	1	2	1	2
Schichtdicke	330 ± 21	300 ± 28			290 ± 23	292 ± 17	234 ± 24	226 ± 12
Gitterschnitt-Kennwert	0	0			0	0	0	0
Blasengrad	0	0	--	--	0	0	0	0
Korrosion am Ritz (max.)	1,3	1,3			0,8	0,8	1,3	1,5
Korrosion am Ritz (MW)	0,5 ± 0,3	0,8 ± 0,3			0,6 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,7 ± 0,3	1,3 ± 0,3
Enthftung am Ritz (MW)	0,6 ± 0,3	1,0 ± 0,3			0,6 ± 0,3	0,9 ± 0,3	1,0 ± 0,3	1,5 ± 0,5
Kondenswassertest 720 Stunden								
Proben-Nr.	3	3	3	3	3	3	3	3
Schichtdicke	306	236	244	238	270	202	294	232
Gitterschnitt-Kennwert	GT 0	GT 0	GT 0	GT 5	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
Blasengrad	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)
Nullprobe								
Proben-Nr.	4	4	4	4	4	4	4	4
Schichtdicke	288	240	300	272	246	242	210	204
Gitterschnitt-Kennwert	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0

Zusatzprüfungen – 4000 h Salzsprühnebeltest an Laborproben IKS

Probenvorbereitung: Zinkphosphatierung von Chemetal

Pulverneuentwicklung	11	12	13	14	15	16	17	18
Schichtdicke μm	168 \pm 12	171 \pm 9	171 \pm 10	147 \pm 13	157 \pm 8	167 \pm 8	162 \pm 9	162 \pm 8
Blasengrad	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Korrosion am Ritz (max.)	1,0	1,5	1,5	1,0	1,3	1,5	1,3	1,5
Korrosion am Ritz (MW)	0,9 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	1,0 \pm 0,3	0,9 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	1,1 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	1,1 \pm 0,2
Enthftung am Ritz (MW)	0,9 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	1,0 \pm 0,3	0,9 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	1,1 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	1,1 \pm 0,2
Gitterschnitt Gt (24 h)	0	0	0	0	0	0	00	0
Abreißfestigkeit MPa	15,7 \pm 2,4	15,9 \pm 0,5	13,5 \pm 3,9	14,1 \pm 1,8	18,5 \pm 2,9	19,4 \pm 4,8	21,9 \pm 1,3	18,8 \pm 0,5
Bruchbild %	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z
Rostgrad Ri	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0
Rissgrad	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Grad des Abblätterns	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)



Nach 4000 Stunden Salzsprühnebeltest und anschließender Ritzauswertung nur geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Pulverneuentwicklungen.

6 Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und Vergleich Projektpartner ZAFT – IKS (Versuchsserie 5)

Korrosionsschutzuntersuchungen in Salzsprühnebelkammer am ZAFT:

Ritze am ZAFT	5_1	5_2	5_3	5_4	5_5
Salzsprühnebeltest 1440 h					
Schichtdicke	152 ± 20	159 ± 15	157 ± 10	171 ± 5	162 ± 15
Gitterschnitt-Kennwert (24 h)	0	0	0	0	0
Blasengrad (sofort)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Korrosion am Ritz (Mw.)	1,8 ± 0,6	2,1 ± 0,6	2,0 ± 0,5	2,2 ± 0,7	2,3 ± 0,9
Korrosion am Ritz (max.)	2,8	3,3	2,8	3,8	3,8

Ritze am IKS	5_6	5_7	5_8	5_9	5_10
Salzsprühnebeltest 1440 h					
Schichtdicke	139 ± 25	177 ± 10	140 ± 20	143 ± 10	181 ± 30
Gitterschnitt-Kennwert (24 h)	0	0	0	0	0
Blasengrad (sofort)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Korrosion am Ritz (Mw.)	1,9 ± 0,6	1,4 ± 0,7	2,2 ± 0,5	2,2 ± 0,8	1,9 ± 0,6
Korrosion am Ritz (max.)	2,8	3,3	2,8	3,3	3,3

Korrosionsschutzuntersuchungen in Salzsprühnebelkammer am IKS:

Ritze am ZAFT	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5
Salzsprühnebel 1440 Stunden					
Schichtdicke (µm)	205 ± 27	219 ± 22	244 ± 32	209 ± 28	236 ± 28
Gitterschnitt-Kennwert (24h)	0	0	0	0	0
Blasengrad (sofort)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Korrosion am Ritz (max.)	4,8	5,0	5,0	4,8	4,8
Korrosion am Ritz (MW)	3,9 ± 0,6	4,2 ± 0,7	4,0 ± 0,6	3,7 ± 0,6	3,1 ± 1,0
Enthaftung am Ritz (MW)	4,0 ± 0,6	4,2 ± 0,7	4,0 ± 0,6	3,7 ± 0,6	3,1 ± 1,0
Abreißfestigkeit (MPa)	9,1	9,1	11,5	11,9	13,9
Bruchbild (%)	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z
Ritze am IKS					
	1	2	3	4	5
Salzsprühnebel 1440 Stunden					
Schichtdicke (µm)	235 ± 25	233 ± 43	189 ± 22	153 ± 22	226 ± 25
Gitterschnitt-Kennwert (24h)	0	0	0	0	0
Blasengrad (sofort)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Korrosion am Ritz (max.)	4,8	4,8	4,3	4,8	4,8
Korrosion am Ritz (MW)	3,3 ± 0,8	3,7 ± 0,7	3,9 ± 0,4	3,7 ± 0,5	3,6 ± 0,9
Enthaftung am Ritz (MW)	3,4 ± 0,9	3,7 ± 0,7	3,9 ± 0,2	3,7 ± 0,5	3,6 ± 0,9
Abreißfestigkeit (MPa)	13,2	10,5	8,4	12,6	11,8
Bruchbild (%)	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z	100 Y/Z



Proben aus der Salzsprühkammer am IKS zeigen etwas größere Korrosion am Ritz.

Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

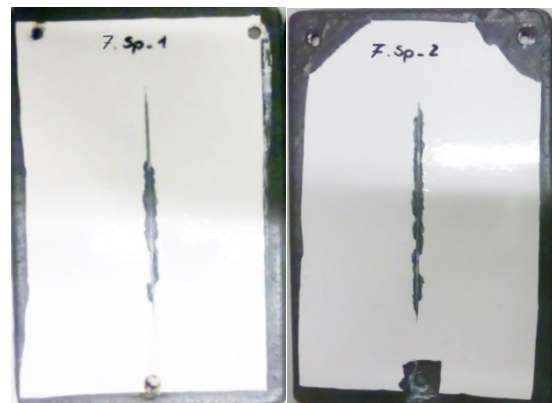
Salzsprühnebeltest 1440 Stunden										
Versuch 6.15 R ohne Entfettung										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schichtdicke	225 ± 19	178 ± 21	175 ± 19	175 ± 35	199 ± 29	188 ± 8	218 ± 21	207 ± 24	146 ± 12	209 ± 18
Gitterschnitt-Kennwert	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blasengrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Korrosion am Ritz (max.)	3,0	2,3	2,8	2,8	2,3	2,8	2,3	2,8	2,5	2,8
Korrosion am Ritz (MW)	2,0	1,7	1,9	1,5	1,8	1,8	1,6	1,9	1,7	1,9
Enthftung am Ritz (MW)	2,2	2,2	2,3	1,8	1,8	2,5	1,6	2,4	2,1	2,2
Versuch 6.15 R E mit Entfettung)										
Proben-Nr.	1 E	2E	3E	4E	5E	6E	7E	8E	9E	10E
Schichtdicke	225 ± 19	178 ± 21	175 ± 19	175 ± 35	199 ± 29	188 ± 8	218 ± 21	207 ± 24	146 ± 12	209 ± 18
Gitterschnitt-Kennwert	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blasengrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Korrosion am Ritz (max.)	2,8	2,8	2,8	2,8	3,3	3,3	2,8	2,8	2,8	3,0
Korrosion am Ritz (MW)	1,7	2,4	2,4	2,2	1,9	2,4	1,9	1,9	2,1	2,2
Enthftung am Ritz (MW)	2,1	2,5	2,8	2,4	2,5	2,6	2,0	2,6	2,3	2,7



7 Referenzuntersuchungen Duplexsystem

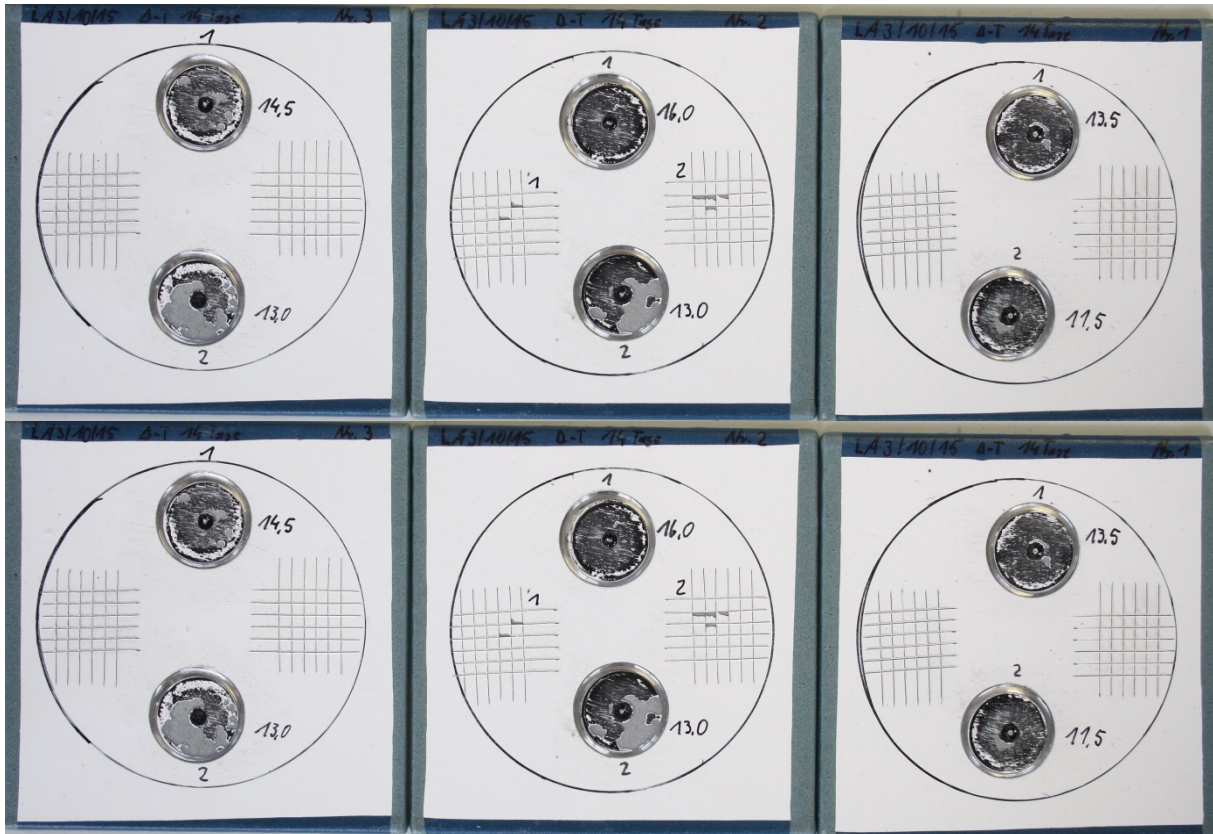
Versuche bei Torwerk Weimar

	Feuerzink		Spritzverzinkung	
	7.Fe		7.Sp	
visuelle Beurteilung				
	Ausgasungen		i.O.	
Salzsprühnebeltest 1440 Stunden				
Proben-Nr.	1	2	1	2
Schichtdicke incl. Zinküberzug	265 ± 15	290 ± 16	278 ± 24	273 ± 23
Gitterschnitt-Kennwert	0	0	0	0
Blasengrad	0	0	0	0
Korrosion am Ritz (max.)	0	0	0	0
Korrosion am Ritz (MW)	0	0	0	0
Enthaftung am Ritz (MW)	6,2 ± 1,5	6,5 ± 1,3	1,3 ± 0,8	1,3 ± 0,3
Kondenswassertest 720 Stunden				
Proben-Nr.	3	4	3	4
Schichtdicke incl. Zinküberzug	253 ± 25	273 ± 9	284 ± 23	249 ± 8
Gitterschnitt-Kennwert	0	0	0	0
Blasengrad	0	0	0	0
Nullprobe				
Proben-Nr.	5		5	
Schichtdicke	293 ± 23		320 ± 23	
Schichtdicke incl. Zinküberzug	0	0	0	0
Schlagversuch				
Proben-Nr.	6		6	
Schichtdicke	278 ± 11		237 ± 17	
Fallhöhe 50 cm	Abplatzungen VS		i.O.	
Fallhöhe 100 cm	Abplatzungen VS		i.O.	



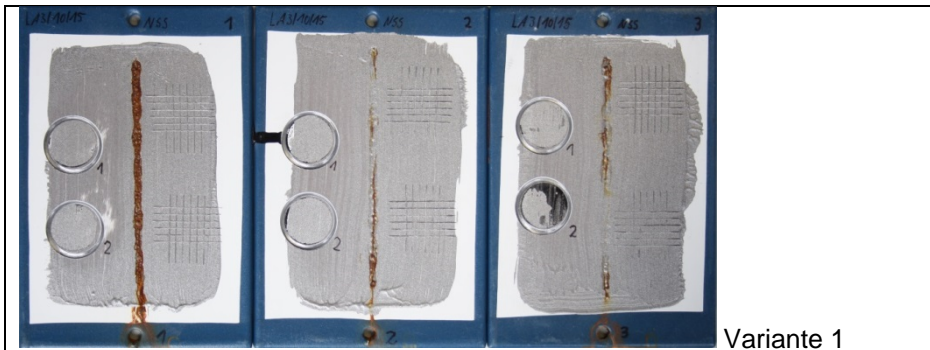
ΔT -Test nach AGK Blatt 1 an Duplexsystemen

- 6 Parallelproben
- verzinkter Stahl, gesweept Rz. 30 μm
- Beschichtung GB 4 + SAJ16G
- 14 Tage Belastung



8 Untersuchungen zu Ausbesserungssystemen

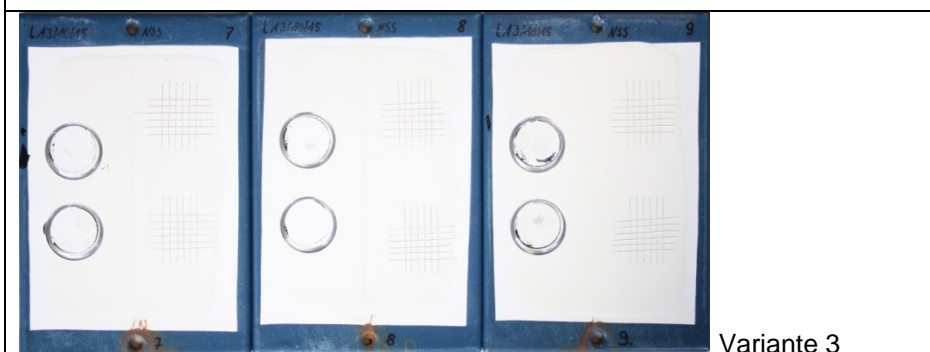
	Variante 1			Variante 2		
	Probe 1	Probe 2	Probe 3 angeschliffen	Probe 4	Probe 5	Probe 6 angeschliffen
Schichtdicke μm (Pulverbesch.)	164 \pm 12	155 \pm 20	133 \pm 9	143 \pm 10	157 \pm 11	180 \pm 10
Schichtdicke μm (Reparatur)	59	65	63	71	58	71
Blasengrad	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Gitterschnitt Gt (24 h)	0	0	0	0	0	0
Abrei β festigkeit MPa	9,2	5,9	4,2	15,8	15,1	18,9
Bruchbild %	100D	100D	50D, 50Y	50C/D, 50D	50C/D, 50D	100D
Rostgrad Ri	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0
Rissgrad	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Grad des Abblätterns	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
	Variante 3			Variante 4		
	Probe 7	Probe 8	Probe 9 angeschliffen	Probe 10	Probe 11	Probe 12 angeschliffen
Schichtdicke μm (Pulverbesch.)	156 \pm 12	170 \pm 9	137 \pm 11	160 \pm 14	171 \pm 7	180 \pm 12
Schichtdicke μm (Reparatur)	104	104	134	76	100	77
Blasengrad	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Gitterschnitt Gt (24 h)	0	0	0	5	3	0
Abrei β festigkeit MPa	23,8	21,6	6,7	7,4	ungültig	10,0
Bruchbild %	100Y (RS)	20C/D, 80Y(RS)	100Y/Z (RS)	100Y/Z (RS)	ungültig	60D, 40Y/Z
Rostgrad Ri	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0
Rissgrad	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Grad des Abblätterns	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
	Variante 5			Variante 6		
	Probe 13	Probe 14	Probe 15 angeschliffen	Probe 16	Probe 17	Probe 18 angeschliffen
Schichtdicke μm (Pulverbesch.)	187 \pm 12	179 \pm 4	158 \pm 6	166 \pm 7	147 \pm 15	148 \pm 11
Schichtdicke μm (Reparatur)	134	129	130	125	127	164
Blasengrad	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Gitterschnitt Gt (24 h)	0	0	0	3-4	4	0
Abrei β festigkeit MPa	16,0	14,3	16,6	14,1	20,1	22,3
Bruchbild %	100D	100Y/Z (RS)	100D	100C/D	90C/D, 10Y	100Y/Z (RS)
Rostgrad Ri	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0	Ri 0
Rissgrad	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)
Grad des Abblätterns	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)	0 (S0)



Variante 1



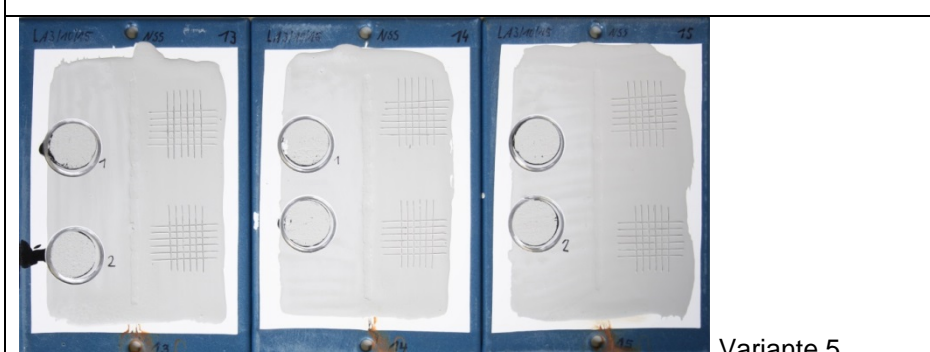
Variante 2



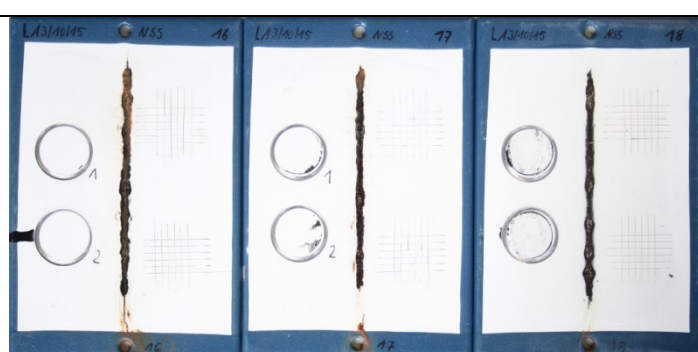
Variante 3



Variante 4



Variante 5



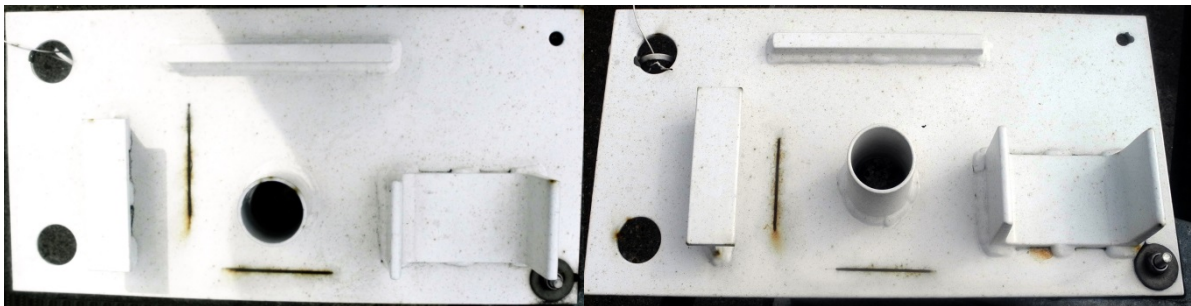
Variante 6

9 Freibewitterung von Musterbauteilen – Ergebnisse nach 1 Jahr Bewitterung

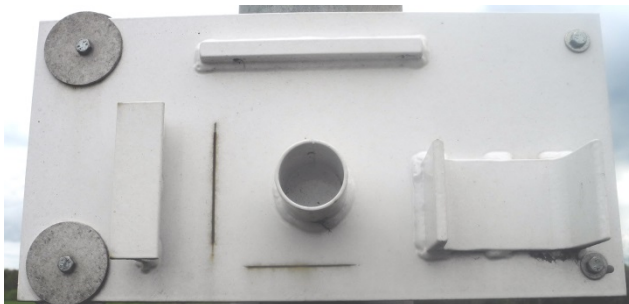
Flughafen Halle-Leipzig



Autobahn



Leppersdorf



Freibewitterungsstand IKS Dresden



- keine Enthaftung am Ritz, keine Blasen- und Rostbildung auf Fläche
- keine Korrosion an korrekt ausgeführten Schweißnähten und sauber gebrochenen Kanten
- beginnende Korrosion an problematischen Stellen (durchbrochene Schweißnähte, harten Kanten), wie erwartet