

INSTITUT
FEUERVERZINKEN



INDUSTRIEVERBAND
FEUERVERZINKEN

— GAV – Forschungskolloquium 2023

Duplex-Systeme - Erkenntnisse aus Praxis und Forschung

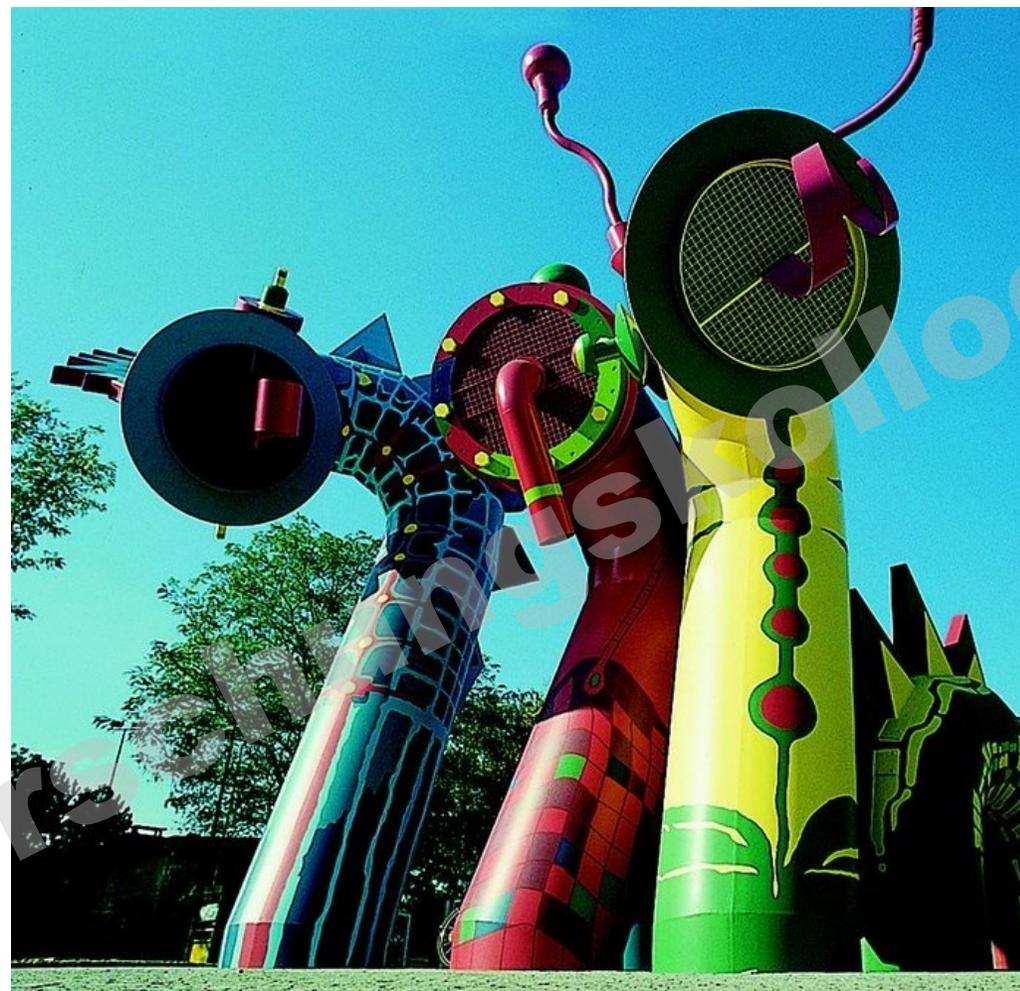
Hannover, 17.10.2023

Patrick Düren-Rost
Institut Feuerverzinken GmbH



Feuerverzinkter Stahl hat viele Gesichter...

Feuerverzinken



... als "Duplex-System"



Feuerverzinkung plus Beschichtung = Duplex - System

Feuerverzinken

Forum 2023



GAV-Forschung



Moderne Beispiele für Duplex-Systeme

Feuerverzinken



Definition Duplex-Systeme

Metallischer Überzug (meist Feuerverzinkung) + Beschichtung = Duplex-System

Definitionen (zum Beispiel)

DIN 55633-1

3.11 Duplex-System

Korrosionsschutzsystem, das aus einer Feuerverzinkung in Kombination mit einer oder mehreren nachfolgenden Beschichtung(en) besteht

DIN EN ISO 14713-2

3.3 Duplex-System

Feuerverzinkungsüberzug (3.2) mit einem zusätzlichen Anstrich oder einer Pulverbeschichtung



Feuerverzinken

Übersicht relevanter Regelwerke

GAV-Forschungskolloquium 2023



Maßgebliche Normen und Regelwerke zum Stückverzinken

- › **DIN EN ISO 1461:2022-12** „Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrauchte Zinküberzüge (Stückverzinken) - Anforderungen und Prüfungen“
- › **DIN EN ISO 14713-1:2017-08** „Zinküberzüge – Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion- Teil 1:Allgemeine Konstruktionsgrundsätze und Korrosionsbeständigkeit
- › **DIN EN ISO 14713-2:2020-05** „Zinküberzüge – Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion – Teil 2: Feuerverzinken
- › **DIN EN ISO 10684:2011-09** „Verbindungselemente - Feuerverzinkung“
- › **DAST-Richtlinie 022:2016-06** „Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen“



European Committee for Standardization



International Organization for Standardization



DAST

Deutscher Ausschuss für Stahlbau



Überblick weiterer Regelwerke und Richtlinien

DIN EN ISO 12944 (Teile 1 bis 9) (Ausgaben 2018 bis 2020)

- › Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Flüssig-Beschichtungssysteme

DIN 55633-I (Ausgabe März 2021)

- › Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Pulver-Beschichtungssysteme

DIN 55634-I (Ausgabe März 2018)

- › Beschichtungsstoffe und Überzüge - Korrosionsschutz von tragenden dünnwandigen Bauteilen aus Stahl - Teil 1: Anforderungen und Prüfverfahren

DIN 55634-2 (Ausgabe März 2018)

- › Beschichtungsstoffe und Überzüge - Korrosionsschutz von tragenden dünnwandigen Bauteilen aus Stahl - Teil 2: Überwachung und Zertifizierungsanforderungen

DIN EN 15773 (Ausgabe März 2018)

- › Industrielle Pulverbeschichtung von feuerverzinkten und sherardisierten Gegenständen aus Stahl

DIN EN 13438 (Ausgabe Dezember 2013)

- › Pulverbeschichtungen für verzinkte oder sherardisierte Stahlerzeugnisse für Bauzwecke

Überblick weiterer Regelwerke und Richtlinien

Verbänderichtlinie “Duplex-Systeme“

- › Korrosionsschutz von Stahl durch Duplex-Systeme

ZTV-ING / ZTV-KOR

- › Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

GSB-Qualitätsrichtlinie ST 663-6

- › Bauteilbeschichtungen auf Stahl

QIB-Qualitätsgemeinschaft Industriebeschichtung e.V.

- › QIB- und QUALISTEELCOAT-Qualitätszeichen , techn. Merkblätter und techn. Spezifikation

AGI Arbeitsblatt K20

- › Korrosionsschutz von Stahl durch Duplex-Systeme

Feuerverzinkung plus Beschichtung = Duplex - System

Anwendungsbereiche

- › Verlängerung der Schutzdauer
- › Farbliche Objektgestaltung
- › Corporate Identity
- › Signalgebung
- › Tarnung
- › unkomplizierte Verarbeitung
- › Synergie-Effekt von Zink und Beschichtung



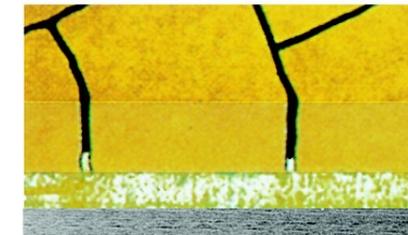
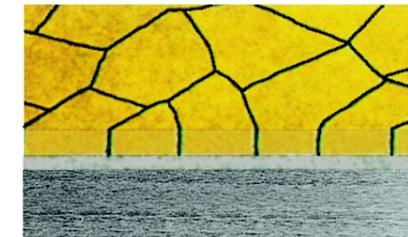
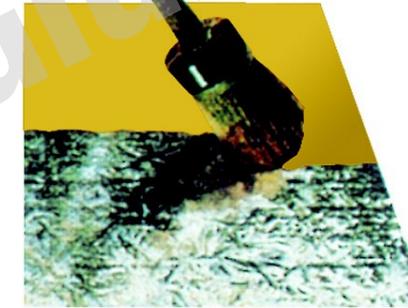
Duplex-Systeme → Synergie Effekt

- › Farbe schützt Verzinkung
- › Verzinkung schützt Farbe
- › Synergie-Effekt verlängert die Schutzdauer der einzelnen Systeme.

Beschichtung auf unverzinktem Stahl



Beschichtung auf verzinktem Stahl



Duplex-Systeme → Synergie Effekt

- › Deutlich verlängerte Schutzdauer des Duplex-Systems durch den Synergieeffekt.

$$D_{\text{Dupl}} = f * (D_{\text{Zn}} + D_{\text{Be}})$$

D_{Dupl} : Schutzdauer des Duplex-Systems
 D_{Zn} : Schutzdauer des Metallüberzuges
 D_{Be} : Schutzdauer der Beschichtung auf Stahl
f: Faktor, der zwischen 1,2 und 2 liegt



“Schutzdauer“ bei Duplex-Systemen

- › Die Schutzdauerangaben geben den Zeitraum bis zur ersten Erneuerung einer Beschichtung an, wobei das Ausmaß der aufgetretenen Beschichtungsschäden vereinbart sein muss. Es ist zu beachten, dass sich die Schutzdauer gemäß DIN EN ISO 12944-1 ausschließlich auf das Beschichtungssystem bezieht und nicht den zusätzlichen Schutz der Feuerverzinkung berücksichtigt.
- › Auch bei der Pulverbeschichtung nach DIN 55633 ist zu beachten, dass sich die Schutzdauerangaben ausschließlich auf das Beschichtungssystem beziehen und nicht den zusätzlichen Schutz der Feuerverzinkung berücksichtigen.
- › DIN EN ISO 12944-5, Tabelle B.3 D.1 und DIN 55633-1, Tabelle A.2.: *“Die Schutzdauerangaben bezieht sich in diesem Fall auf die Haftfestigkeit des Beschichtungssystems auf der feuerverzinkten Oberfläche. Im Falle eines beschädigten Beschichtungssystems sorgt die verbleibende Zinkschicht für den weiteren Schutz des Stahls.“*
- › Angaben zur Schutzdauer der Feuerverzinkung sind der DIN EN ISO 14713-1 zu entnehmen !
- › Die Schutzdauer des Gesamtsystems aus Feuerverzinkung und Beschichtung ist jeweils um ein vielfaches höher als die Schutzdauer der einzelnen Systeme.



Flüssigbeschichtungsstoffe auf feuerverzinktem Stahl, DIN EN ISO 12944-5

Schutzdauer		Niedrig		Mittel		Hoch		Sehr hoch	
Art des Substrates		Feuerverzinkter Stahl		Feuerverzinkter Stahl		Feuerverzinkter Stahl		Feuerverzinkter Stahl	
Bindemittelbasis des Grundbeschichtungsstoffes		EP, PUR	AY						
Bindemittelbasis der nachfolgenden Schichten		EP, PUR, AY	AY						
C2	MNOC	a		a		1	1	1	2
	NDFT					80	80	120	160
C3	MNOC	a		1	1	1	2	2	2
	NDFT			80	80	120	160	160	200
C4	MNOC	1	1	1	2	2	2	2	
	NDFT	80	80	120	160	160	200	200	
C5	MNOC	1	2	2	2	2		2	
	NDFT	120	160	160	200	200		240	

Anmerkungen/Hinweise: a = Es ist ein System für eine höhere Korrosivitätskategorie oder Schutzdauer zu verwenden; MNOC = Mindestanzahl an Schichten; NDFT = Mindestsollschichtdicken; C2, C3, C4, C5 = Korrosivitätskategorien: Bei Einschichtern wird die Bindemittelbasis des Grundbeschichtungsstoffes empfohlen.



Pulverbeschichtungsstoffe auf feuerverzinktem Stahl, DIN 55633-1

Beispiele für Duplex-Systeme mit Pulver-Beschichtungsstoffen

Oberflächen- vorbereitung /Vorbehand- lung*	Grundbeschichtung			Deckbeschichtung inkl. Zwischen- beschichtung			Gesamt- system		Erwartete Schutzdauer für Korrosivitätskategorien C2 bis C5 L=Niedrig, M=Mittel, H=Hoch, VH=Sehr Hoch																			
	Binde- mittel- basis	Anzahl Schich- ten	NDFT µm	Binde- mittel- basis	Anzahl Schich- ten	NDFT µm	Anzahl Schich- ten	NDFT µm	C2				C3				C4				C5							
									L	M	H	VH	L	M	H	VH	L	M	H	VH	L	M	H					
Sw	-	-	-	SP, PUR, PVDF	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
AP		-	-		1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ZP		-	-		1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Chr		-	-		1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sw	-	-	-	EP/SP ^c	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
AP	-	-	-	EP/SP ^c	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ZP	-	-	-	EP/SP ^c	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Chr	-	-	-	EP/SP ^c	1	80	1	80	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sw	EP	1	60	EP/SP ^c	1	70	2	130	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
AP		1	60	SP ^d , PUR ^d , PVDF ^d , EP/SP ^c	1	70	2	130	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ZP		1	60	SP ^d , PUR ^d , PVDF ^d , EP/SP ^c	1	70	2	130	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Chr		1	60	SP ^d , PUR ^d , PVDF ^d , EP/SP ^c	1	70	2	130	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

*Chr=Gelb-Chromatieren; Sw=Sweep-Strahlen; AP=Alternative Passivierung (Alternative, in gleicher Weise geeignete Vorbereitungs- und Vorbehandlungsverfahren sind zulässig); ZP=Zinkphosphatierung



Feuerverzinken

Praxisbeispiele

GAV-Forschungskolloquium 2023



Praxisbeispiel Haltestelle Köln, Baujahr 1999 und 2004



Baujahr 2004



Baujahr 1999



Praxisbeispiel Haltestelle Köln, Baujahr 1999 und 2004



Praxisbeispiel Hauptbahnhof Köln, Vorhallendächer Baujahr 1991

- › 1990 / 91 Vorhalle als Kreuzgewölbe in Stahl-Glas-Konstruktion
- › Korrosionsschutz als Duplex-System
- › Inspektion des Duplex-Systems in 2014
Schichtdicke Zinküberzug = 88 μm – 438 μm
Schichtdicke Beschichtung = 90 μm – 904 μm
- › Die Anforderungen der Ausschreibung werden selbst nach rund 25 Jahren noch weitestgehend übertroffen
- › Hervorragendes Schutz-Potenzial für die Zukunft ist gegeben



Praxisbeispiel Hiroshimasteg Berlin, Baujahr 1987



Praxisbeispiel Kunsteisbahn in Balingen, Baujahr 1977



GAVFER



Stahl-Zentrum Düsseldorf (Baujahr 1986)

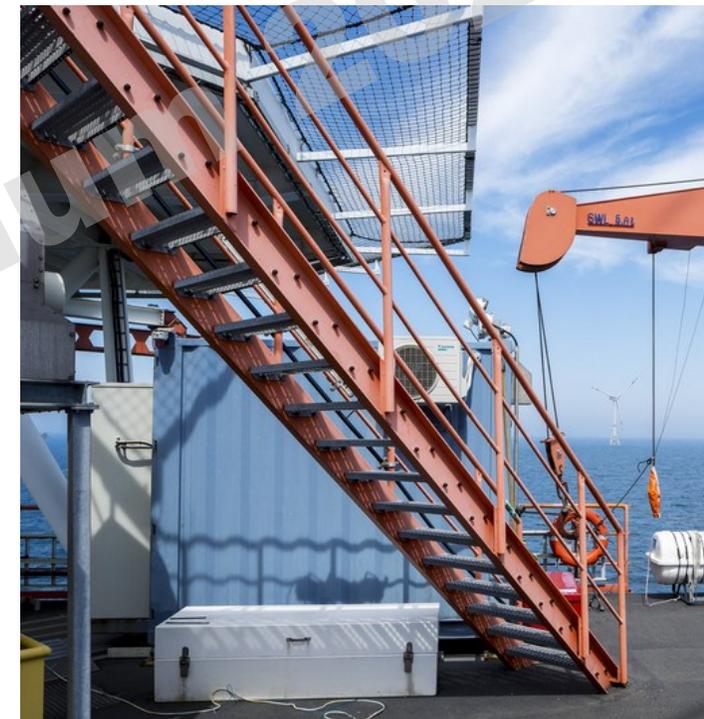
- › Tragende Außenstützen und die vorgehängte, hinterlüftete Stahlblechfassade wurden durch ein Duplex-System vor Korrosion geschützt
- › Inspektion 2014: Außenstützen und Fassadenbleche in einem guten korrosionsfreien Zustand.
- › Inspektion des Duplex-Systems in 2014
 - Schichtdicke Beschichtung ca. 120 μm
 - Schichtdicke Zinküberzug Fassadenbleche ca. 140 μm
 - Schichtdicke Zinküberzug Außenstützen ca. 400 μm
- › Stahl-Zentrum auch für kommende Jahrzehnte mit ausreichendem Korrosionsschutz versehen



Duplex-Systeme im Offshorebereich

GAV-Forschungsmaschinenkolloquium 2023





- › Begutachtung der Korrosionsschutzsysteme nach 10 Jahren durch die Helmut Müller GmbH
- › Aufstieg Helicopter-Deck und Geländer des Laufsteges wurden im Duplex-System ausgeführt.
 - › „Bei der visuellen Begutachtung sind keine sichtbaren Mängel festgestellt worden.“
 - › „Im Geländerbereich sind keine Mängel in Form von Korrosion gesichtet worden.“

Literaturangabe:

- › Gutachten BU 13-001-073 der Helmut Müller GmbH über die Inspektion FINO I GmbH für Sika Deutschland GmbH, 26.2.2013, Emden
- › Vortrag " Langzeiterfahrung mit Beschichtungen „FINO I“, Helmut Müller auf dem Workshop des Fachausschusses Korrosionsschutz der Hafentechnischen Gesellschaft, 23.10.2013, Hamburg



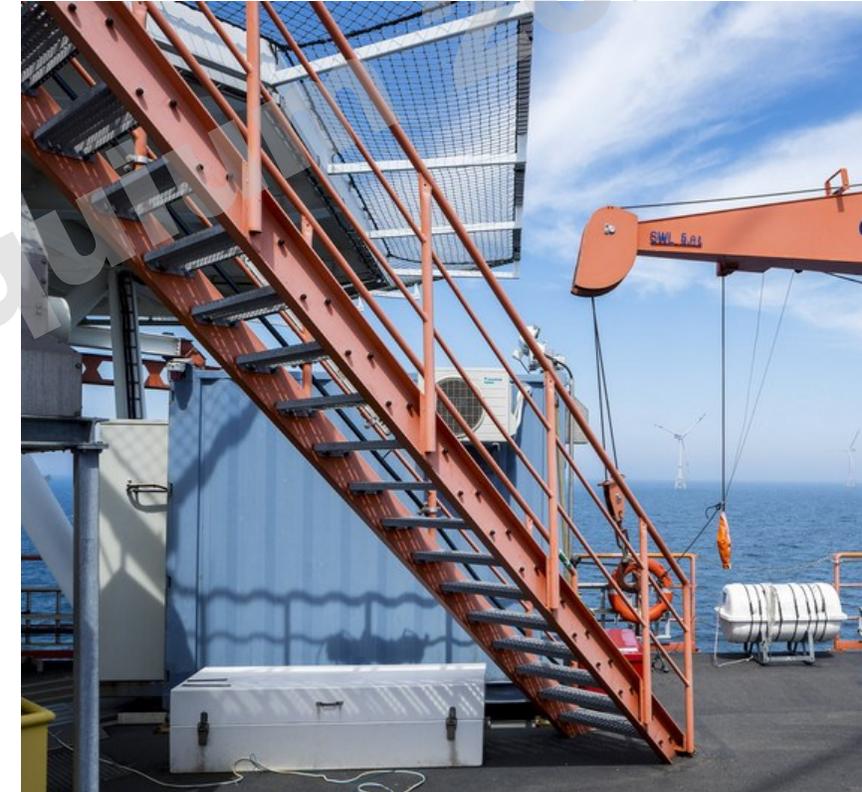
Duplex - Systeme in der Offshore Anwendung, DIN EN ISO 12944 - 9

	Gestrahelter unlegierter Stahl: Sa 2 ½; Oberflächenprofil: mittel (G)		Feuerverzinkter Stahl oder Stahl mit thermisch gespritztem Zinküberzug ^a
Art der Umgebung	CX (Offshore)		CX (Offshore)
Art des Grund- beschichtungstoffes	Zn (R) ^b	andere Grund- beschichtungstoffe	
NDFT (µm)	≥ 40	≥ 60	
Mindestanzahl der Schichten ^d	3	3	2
NDFT des Beschichtungs- systems (µm)	≥ 280	≥ 350	≥ 200

^a Die Dicke des metallischen Überzugs muss nach ISO 1461 (feuerverzinkt) oder ISO 2063 (alle Teile) (thermisch gespritzter Metallüberzug) sein, und der Metallüberzug muss wie in ISO 12944-4 angegeben, vorbereitet sein. Das Überschichten von thermisch gespritztem Aluminium (TSA) wird nicht empfohlen, da die Gefahr besteht, dass die Beschichtung abblättert und am TSA Korrosion auftritt. Für TSA wird nur eine Versiegelungsschicht empfohlen.

^b Zn (R) = zinkstaubreicher Grundbeschichtungstoff nach ISO 12944-5

- › Duplex-Systeme haben sich in der Offshore-Anwendung bewährt
- › Schutzdauer des Beschichtungssystems nach DIN EN ISO 12944-9 = hoch (H)
- › Moderne Offshore-Windparks sollen, um möglichst wirtschaftlich zu sein, 25 Jahre und länger in Betrieb bleiben (Quelle BAM).



Feuerverzinken

Duplex-Systeme in der Forschung

GAV-Forschungskolloquium 2023



Thema / Titel:

- › Direkte Beschichtung von feuerverzinktem Stahl - Korrosionsschutz, Schutzmechanismen und Prüfsubstrate (FeuZinCoat)
- › IGF-Vorhaben Nr. 21082 BG, Laufzeit: 01.03.2020 - 31.08.2022
- › Untersuchungen zum derzeit gegenwärtigen Trend, stückverzinkte Oberflächen unmittelbar nach dem Verzinkungsprozess ohne Oberflächenbehandlung zu beschichten.



Schlussbericht vom 03.03.2023

zu IGF-Vorhaben Nr. 21082 BG

Thema

Direkte Beschichtung von feuerverzinktem Stahl - Korrosionsschutz, Schutzmechanismen und Prüfsubstrate (FeuZinCoat)

Berichtszeitraum

01.03.2020 bis 31.08.2022

Forschungsvereinigung

Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e.V.

Allmandring 37

70569 Stuttgart

Forschungseinrichtung(en)

Forschungseinrichtung 1: Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (IKS), Gostritzer Str. 65, 01217 Dresden

Forschungseinrichtung 2: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ziel dieses Forschungsvorhabens war es,

- › die bei Verzicht auf Sweep-Strahlen in der Praxis anzutreffenden verschiedenen Oberflächenzustände des Zinküberzugs zu charakterisieren.
- › die komplexen Zusammenhänge der Korrosionsmechanismen zwischen Zinkoberfläche und Beschichtung von Duplexsystemen zu untersuchen.
- › Abhängigkeiten des Korrosionsschutzes bei Duplexsystemen unter Betrachtung des Verzinkungsprozesses und der Art der Beschichtung herauszuarbeiten.
- › ein Prüfsubstrat mit typischen Oberflächenzuständen und einer Dicke von max. 3 mm zu entwickeln.

Quelle: Schlussbericht IGF-Vorhaben Nr. 21082 BG

Schlussbericht vom 03.03.2023

zu IGF-Vorhaben Nr. 21082 BG

Thema

Direkte Beschichtung von feuerverzinktem Stahl - Korrosionsschutz, Schutzmechanismen und Prüfsubstrate (FeuZinCoat)

Berichtszeitraum

01.03.2020 bis 31.08.2022

Forschungsvereinigung

Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e.V.

Allmandring 37

70569 Stuttgart

Forschungseinrichtung(en)

Forschungseinrichtung 1: Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (IKS), Gostritzer Str. 65, 01217 Dresden

Forschungseinrichtung 2: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Auszug aus der Zusammenfassung:

- › Stahlzusammensetzung beeinflusst Struktur & Oberfläche des Zinküberzugs
- › Unterschiede zwischen Zusammensetzung Zinkschmelze und Zusammensetzung der Oberfläche des Zinküberzugs
- › Einfluss z.B. von Bismut auf die Haftfestigkeit ist gering
- › Aluminium kann sich an der Oberfläche des Überzuges anreichern und die Haftfestigkeit bei den untersuchten Beschichtungssystemen beeinflussen.
- › Nach dem Verzinkungsprozess müssen verzinkte Bauteile räumlich und zeitlich nah beschichtet werden.
- › Abschrecken in chloridhaltigen Abschreckwässern reduziert die Haftfestigkeit der Beschichtung und schränkt das Korrosionsschutzvermögen des Duplex-Systems ein.

Quelle: Schlussbericht IGF-Vorhaben Nr. 21082 BG

Schlussbericht vom 03.03.2023

zu IGF-Vorhaben Nr. 21082 BG

Thema

Direkte Beschichtung von feuerverzinktem Stahl - Korrosionsschutz, Schutzmechanismen und Prüfsubstrate (FeuZinCoat)

Berichtszeitraum

01.03.2020 bis 31.08.2022

Forschungsvereinigung

Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e.V.

Allmandring 37

70569 Stuttgart

Forschungseinrichtung(en)

Forschungseinrichtung 1: Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (IKS), Gostritzer Str. 65, 01217 Dresden

Forschungseinrichtung 2: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

- › Offshore-Windenergie: BAM und EnBW testen Korrosionsschutz auf hoher See
Start: Sommer 2022
- › 17 verschiedene Werkstoffe werden in der Nordsee drei Jahre lang Wind und Wetter ausgesetzt. Geprüft werden Materialproben aus Stahl, Zink, Kupfer und Aluminium, sowie Materialvarianten mit innovativen Beschichtungen und Zinküberzügen sowie nichtrostende Stähle in unterschiedlichen Widerstandsklassen.
- › Die Kampagne soll der Industrie helfen, den Korrosionsschutz nachhaltiger und wirtschaftlicher auszulegen



Quelle:

[BAM - Aktuelles - Offshore-Windenergie: BAM und EnBW testen Korrosionsschutz auf hoher See](#)



— GAV – Forschungskolloquium 2023

Duplex-Systeme - Erkenntnisse aus Praxis und Forschung

Hannover, 17.10.2023

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

