



Feuerverzinken als Korrosionsschutzsystem im Stahlwasserbau

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Max Gündel, Farrokh Taherkhani, M.Sc.



HELMUT SCHMIDT
UNIVERSITÄT

Universität der Bundeswehr Hamburg

Kaiserschleuse Bremerhaven



Neues Wasserkraftwerk Rheinfelden



Quelle: Anwika

Korrosionsschutz im Stahlwasserbau in Deutschland

Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

- baut, betreibt und unterhält die Bundeswasserstraßen
- dazu gehören **315 Schleusen, 307 Wehre, 2 Schiffshebewerke, 40 Kanalbrücken, 4 Sturmflutsperrwerke, 1300 Brücken** etc.



Anforderungen an den Korrosionsschutz

- Geregelt in den „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (Leistungsbereich 218)“, 2009
- ZTV-W LB218 2.1(9) „Für Beschichtungssysteme ... dürfen nur Stoffe verwendet werden, die nach den **RPB geprüft und zugelassen** sind. Die **Prüfung erfolgt durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)** ...“



Korrosionsschutz im Stahlwasserbau in Deutschland



Liste der zugelassenen* Systeme I

für Süßwasser [Im1]

34. Ausgabe

November 2022

Geprüft nach den „Richtlinien für die
 Prüfung von Beschichtungssystemen
 für den Korrosionsschutz im
 Stahlwasserbau“ (RPB 2011) der
 Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Schichtaufbau				Hersteller	Prüfnr.	Löse- mittel	AW	Labor	LZA	KKS
GB	Produkt (GB)	DB	Produkt (DB)							
Systeme 1/2: NDFT: 350 µm mit 1 x GB (50 µm; EP-Zn/PUR-Zn) + 1-2 x DB (300 µm; EP/PUR)										
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant-PU-Zinc	2 x 1K-PUR	Stelpant-PU-Combination 600	Steelpaint	305-21	L 20	stark	taugl.	in Pr.	
Systeme 3/4: NDFT: 500 µm mit 1 x GB (50 µm; EP-Zn/PUR-Zn) + 2-3 x DB (450 µm; EP/PUR)										
1 x 1K-PUR-Zn	Corothane Zinc PUR	2 x 1K-PUR	Corothane PUR SW	Sherwin Williams	049-17	L 20	stark	taugl.	taugl.	taugl.
1 x 1K-PUR-Zn	Corothane Zinc PUR	2 x 1K-PUR 1 x 2K-PUR	Corothane PUR SW Acrolon EG-5	Sherwin Williams	076-17	L 20	stark	taugl.	taugl.	
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant PU-Zinc	2 x 1K-PUR	Stelpant PU-Combination 300	Steelpaint	103-19	L 20	stark	taugl.	taugl.	taugl.
1 x EP-Zn	Zinc Clad R	2 x EP	Dura-Plate 299 Airless	Sherwin Williams	131-20	L 10	stark	taugl.	taugl.	taugl.
1 x EP-Zn	Agrozinc SW	2 x EP	Agropox HS SW	Avenarius-Agro	149-19	L 10	stark	taugl.	taugl.	
1 x EP-Zn	Eclon EP Zinc	2 x EP	Eclon EP HR	Eclatin	166-17	LF	stark	taugl.	taugl.	
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant PU-Zinc	2 x 1K-PUR	Stelpant PU-Combination 100	Steelpaint	177-21	L 20	mittel	taugl.	taugl.	
1 x EP-Zn	Remoplast EP Zinc	2 x EP	Remoplast RA 122	Rembrandtin	240-17	L 20	mittel	taugl.	taugl.	
1 x EP-Zn	Remoplast EP Zinc	2 x EP	Remoplast STWB	Rembrandtin	241-17	L 10	mittel	taugl.	taugl.	
1 x EP-Zn	Zinc Clad R	2 x EP	Dura-Plate SW-501	Sherwin Williams	252-19	LF	stark	taugl.	in Pr.	taugl.
1 x 1K-PUR-Zn	Corozinc M	2 x 1K-PUR	Coropur Non-Abrasive	Eclatin	254-19	L 20	stark	taugl.	taugl.	
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant PU-Zinc	2 x 1K-PUR	Stelpant PU-Combination 200	Steelpaint	303-21	L 20	stark	taugl.	in Pr.	
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant PU-Zinc	2 x 1K-PUR	Stelpant PU-Combination 500	Steelpaint	304-21	L 20	stark	taugl.	in Pr.	
1 x EP-Zn	Zinc Clad R	2 x EP	Dura-Plate Poicolor SW N	Sherwin Williams	320-17	L 10	stark	taugl.	in Pr.	taugl.

Korrosionsschutz im Stahlwasserbau in Deutschland



Liste der zugelassenen* Systeme II

für Salz-, Brackwasser und Erdreich [Im2/Im4, Im3]

34. Ausgabe

November 2022

Geprüft nach den „Richtlinien für die Prüfung von Beschichtungssystemen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau“ (RPB 2011) der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Schichtaufbau				Hersteller	Prüfnr.	Löse- mittel	AW	Labor	LZA	KKS
GB	Produkt (GB)	DB	Produkt (DB)							
Systeme 1/2: NDFT: 350 µm mit 1 x GB (50 µm; EP-Zn/PUR-Zn) + 1-2 x DB (300 µm; EP/PUR)										
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant PU-Zinc	2 x 1K-PUR	Stelpant PU-Combination 600	Steelpaint	305-16	L 20	stark	taugl.	in Pr.	
Systeme 3/4: NDFT: 500 µm mit 1 x GB (50 µm; EP-Zn/PUR-Zn) + 2-3 x DB (450 µm; EP/PUR)										
1 x 1K-PUR-Zn	Corothane Zinc PUR	2 x 1K-PUR	Corothane PUR SW	Sherwin Williams	049-17	L 20	stark	taugl.	taugl.	taugl.
1 x 1K-PUR-Zn	Corothane	38 zugelassene Systeme für Süßwasser 27 zugelassene Systeme für Salz-/Brackwasser und Erdreich - kein Korrosionsschutzsystem auf Basis von Feuerverzinken							taugl.	
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant P								taugl.	taugl.
1 x EP-Zn	Zinc Clad I								taugl.	taugl.
1 x EP-Zn	Agrozinc S								taugl.	
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant P								taugl.	
1 x 1K-PUR-Zn	Corozinc M	2 x 1K-PUR	Coropur Non-Abrasive	Eclatin	254-19	L 20	stark	taugl.	taugl.	
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant PU-Zinc	2 x 1K-PUR	Stelpant PU-Combination 200	Steelpaint	303-16	L 20	stark	taugl.	in Pr.	
1 x 1K-PUR-Zn	Stelpant PU-Zinc	2 x 1K-PUR	Stelpant PU-Combination 500	Steelpaint	304-16	L 20	stark	taugl.	in Pr.	
1 x EP-Zn	Zinc Clad R	2 x EP	Dura-Plate Poxicolor SW N	Sherwin Williams	320-17	L 10	stark	taugl.	in Pr.	taugl.
1 x EP-Zn	TEFROcor Zinc EP	2 x EP	TEFROcor 150 SW-LV	G. Theodor Freese	326-18	LF	stark	taugl.	in Pr.	taugl.
System 5: NDFT: 500 µm mit 1 x GB (50 µm; EP-Zn) + 1 x DB (450 µm; EP)										
1 x EP-Zn	Epex Zinkstaub	1 x EP	Coprenal 242	Bergolin	016-18	L 5	stark	taugl.	taugl.	taugl.
1 x EP-Zn	Interzinc 52	1 x EP	Interline 975	International	174-15	LF	stark	taugl.	taugl.	taugl.

- 38 zugelassene Systeme für Süßwasser
- 27 zugelassene Systeme für Salz-/Brackwasser und Erdreich
- kein Korrosionsschutzsystem auf Basis von Feuerverzinken**

Feuerverzinken als Korrosionsschutz im Stahlwasserbau



Quelle: Institut Feuerverzinken



Quelle: Institut Feuerverzinken

Feuerverzinken als Korrosionsschutz im Stahlwasserbau



Quelle: Institut Feuerverzinken



Quelle: Düren-Rost



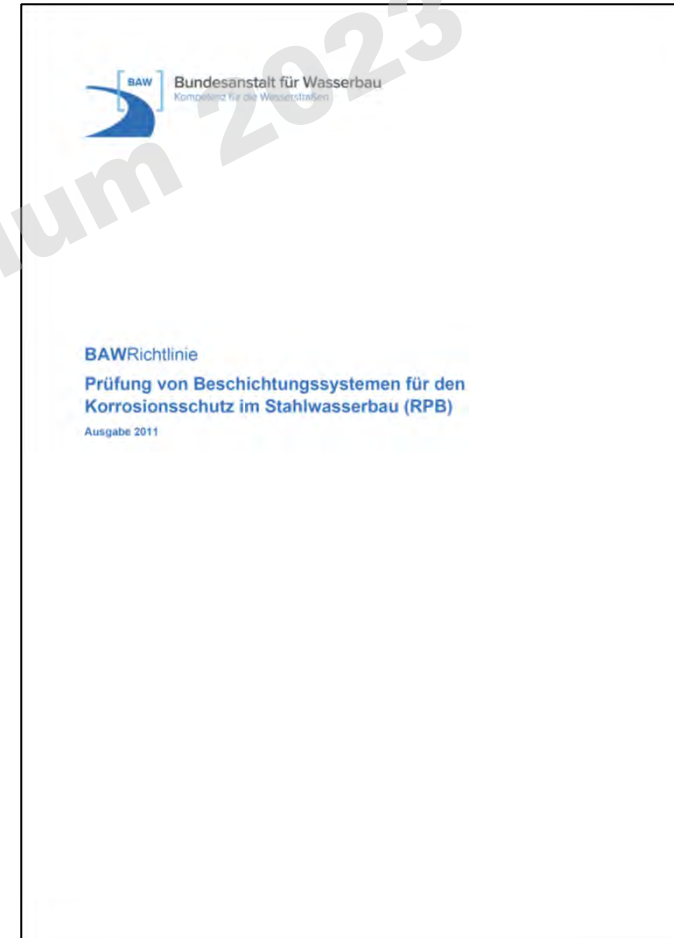
Langzeitauslagerungsversuche bei der BAW



HELMUT SCHMIDT
UNIVERSITÄT
Universität der Bundeswehr Hamburg

Standardprüfungen der BAW

1. Prüfung des **Abriebwiderstandes** (AW): Beständigkeit gegen geringe, mittlere und starke Belastung
2. Beständigkeit gegen Feuchtigkeit (Labor): **Salzsprühnebel** nach DIN EN ISO 6270-1
3. Prüfung der Beständigkeit gegen natürliche Einflüsse in der **Langzeitauslagerung** (LZA)
4. Prüfung der Beständigkeit unter Einfluss des **kathodischen Korrosionsschutzes**



Langzeitauslagerung

- Proben aus Stahlblechen 400 x 400 x 4 [mm]
- 12 Proben (4 jeweils in den drei Positionen ÜW, WW, UW)
- vor der Beschichtung: Bohrungen für Befestigung und Kodierung
- nach der Beschichtung: definierte Verletzung (maschinell) mit 2 mm Breite bis zum Substrat
- nach 5 Jahren: Untersuchung auf Schäden wie Blasen, Ablösung, Unterrostung

Über Wasser (ÜW)

Wasserwechselzone (WW)

Unter Wasser (UW)



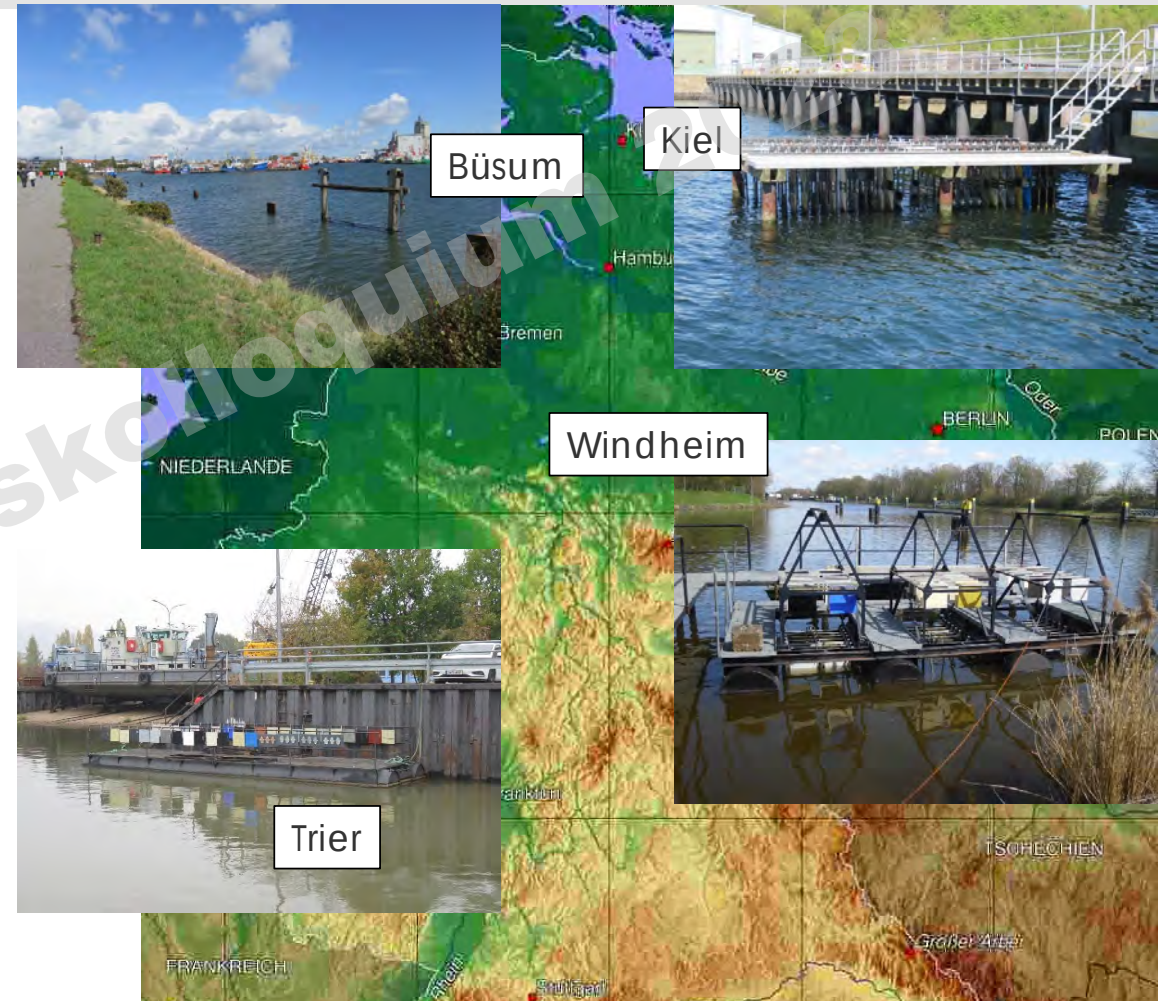
Quelle: Düren-Rost

Langzeitauslagerung

Standorte

Lokalität	Trier (Mosel)	Windheim (Weser)	Kiel (Ostsee)	Büsum (Nordsee)
Wassertyp	verschm. Flusswas- ser (Im1)	salzhaltig Flusswas- ser (Im1)	Brack- wasser (Im2)	Meer- wasser (Im2)
Leitfähigkeit [mS/cm]	1,1	1,5	27,1	45,1
Chlorgehalt [ppm]	159	282	6150	17500
Sulfatgehalt [ppm]	80	80	2200	1600
Calciumgehalt [ppm]	108	72	180	288
Carbonathärte [°d]	9	7	7	7
pH-Wert	7,87	7,73	7,80	7,70
Salinität	0,5	-	15,6	27,7
W ₀ -Wert	5	1,2	-6,6	-6,6

(Werte 2018)



Untersuchte Korrosionsschutzsysteme

System 1: Feuerverzinkung

- feuerverzinkt bei 450 °C
- mittlere Schichtdicke 57 µm



BAW Bericht B3951.02.15.10440, ZINQ

System 2: Feuerverzinkung

- feuerverzinkt 452 °C
- mittlere Schichtdicke 161 µm

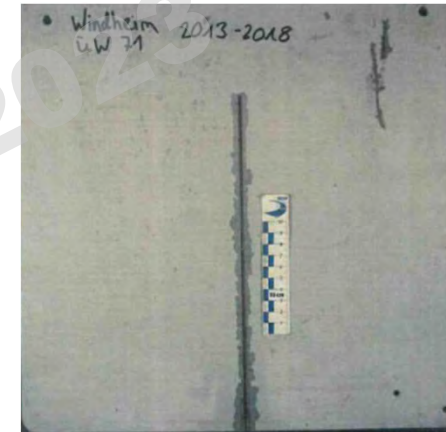


BAW Bericht B3951.02.15.10483, GAV

Untersuchte Korrosionsschutzsysteme

System 3: Duplex-System (Dünnschichtverzinkung plus Pulverbeschichtung)

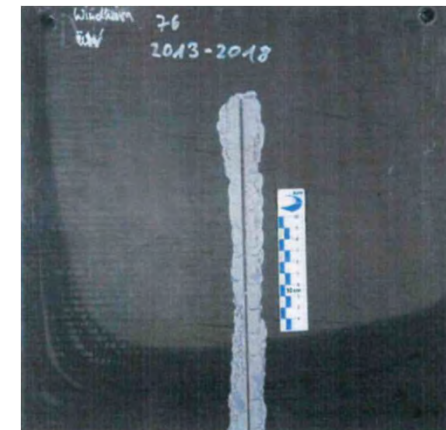
- feuerverzinkt mit Zink-5% Al-Schmelze, Schichtdicke 6 - 18 μm
- Zwischenbeschichtung: EP-Pulverlackierung, Schichtdicke 90 - 130 μm
- Deckbeschichtung: hochwetterfester PE-Pulverlack, Schichtdicke 90 - 130 μm
- mittlere Gesamtschichtdicke 254 μm



BAW Bericht B3951.02.15.10440, ZINQ

System 4: Duplex-System (Feuerverzinkung plus Nasslackbeschichtung)

- feuerverzinkt 450 °C, mittlere Schichtdicke 54 - 60 μm
- Zwischenbeschichtung: eisenglimmerhaltig auf Epoxidharzbasis, Schichtdicke 70 - 90 μm
- Deckbeschichtung: Zwei-Komponenten-Beschichtungsstoff auf Epoxidharzbasis, Schichtdicke 480 - 570 μm
- mittlere Gesamtschichtdicke 640 μm



BAW Bericht B3951.02.15.10440, ZINQ



Ergebnisse



HELMUT SCHMIDT
UNIVERSITÄT
Universität der Bundeswehr Hamburg

Bewertungsverfahren

BAW-Richtlinie: Prüfung von Beschichtungssystemen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (RPB) Ausgabe 2011

1.6 Stoffart: Verzinkung						
Produktbezeichnung der einzelnen Beschichtungsstoffe	Chargen- nummer	Applikations- verfahren AS, PS, Str., R	Trocknungsbedingungen			TFD [µm]
			Tempe- ratur [°C]	rel. Luft- feuchte [%]	Datum	
duroZINQ		Tauchverfahren bei 450°C	11,2	76,7	12.01.2012	55
Gesamtschichtdicke						

n. b. = nicht bestimmt
 AS = Airless Spritzen
 PS = Pneumatisch Spritzen
 Str. = Streichen
 TFD = Gesamtschichtdicke
 R = Rollen
 k. A. = keine Angaben

3.3 Prüfung für Brackwasser (Kiel) (Im2)

Probe- platte	Blasengrad ¹ DIN EN ISO 4628-2 n / h		Rostgrad ¹ DIN EN ISO 4628-3	Unterrostung ² Ritz / mm		Blasengrad ¹ DIN EN ISO 4628-2 m / g	
	Fläche			Soll	Ist	Ritz	
ÜW	0	0	0	≤ 6,0	0,3	0	0
WW	0	0	9	≤ 10,0	FS; Rotrost	0	0
UW	0	0	9	≤ 2,5	FS; Rotrost	0	0

¹ Bewertung sofort

² DIN EN ISO 12944-6, siehe Bilder in den Anlagen 1 und 2

m: Menge der Blasen, g: Größe von Blasen, n: Menge der Blasen auf der Fläche, h: Größe von Blasen auf der Fläche

System 1: Feuerverzinkung 54 - 60 μm

BAW Bericht B3951.02.15.10440, Auftraggeber: ZINQ

Süßwasser (Im1)

Lokalität	Trier	Windheim
Schichtdickendifferenz [μm]		
ÜW	-5	-8
WW	+15	+7
UW	-12	-17
Unterwanderung / Unterrostung am Ritz [mm]		
ÜW	0,1; Rotrost	0,6; Rotrost
WW	FS; Rotrost	FS; Rotrost
UW	FS; Rotrost	FS; Rotrost



System 1: Feuerverzinkung 54 - 60 μm

BAW Bericht B3951.02.15.10440, Auftraggeber: ZINQ

Salz-/Brackwasser (Im2)

Lokalität	Büsum	Kiel
Schichtdickendifferenz [μm]		
ÜW	Platte fehlt	-2
WW	+170	+95
UW	+101	+221
Unterwanderung / Unterrostung am Ritz [mm]		
ÜW	Platte fehlt	0,3
WW	FS; Rotrost	FS; Rotrost
UW	FS; Rotrost	FS; Rotrost

Standort	Überwasserzone (ÜW)	Wasserwechselzone (WW)	Unterwasserzone (UW)
Büsum	Platte fehlt		
Kiel			

System 2: Feuerverzinkung 150 -190 µm

BAW Bericht B3951.02.15.10483, Auftraggeber: GAV

Süßwasser (Im1)

gute Beständigkeit

Lokalität	Trier	Windheim
Schichtdickendifferenz [µm]		
ÜW	+8	+10
WW	+61	+84
UW	+50	+71
Unterwanderung / Unterrostung am Ritz [mm]		
ÜW	0,0; Rotrost	0,0
WW	0,0; Rotrost	0,0
UW	0,0; Rotrost	0,0; Rotrost

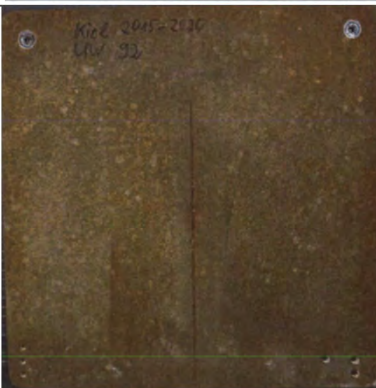
Standort	Überwasserzone (ÜW)	Wasserwechselzone (WW)	Unterwasserzone (UW)
Trier			
Windheim			

System 2: Feuerverzinkung 150 -190 µm

Salz-/Brackwasser (Im2)

BAW Bericht B3951.02.15.10483, Auftraggeber: GAV
gute Beständigkeit

Lokalität	Büsum	Kiel
Schichtdickendifferenz [µm]		
ÜW	+2	+36
WW	+112	+73
UW	+43	-26
Unterwanderung / Unterrostung am Ritz [mm]		
ÜW	0,0	0,0; Rotrost
WW	0,0; Rotrost	0,0; Rotrost
UW	0,0; Rotrost	0,0; Rotrost

Standort	Überwasserzone (ÜW)	Wasserwechselzone (WW)	Unterwasserzone (UW)
Büsum			
Kiel			

System 3: Duplex-System (Dünnschichtverzinkung plus Pulverbeschichtung)

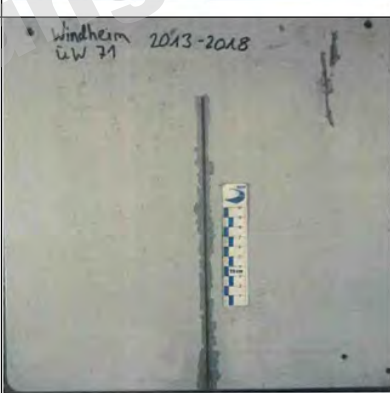
BAW Bericht B3951.02.15.10440, Auftraggeber: ZINQ

Süßwasser (Im1)

gute Beständigkeit

Lokalität	Trier	Windheim
Blasengrad am Ritz		
ÜW	m0/g0	m0/g0
WW	m3/g3	Platte fehlt
UW	m2/g2	Platte fehlt
Unterwanderung / Unterrostung am Ritz [mm]		
ÜW	0,1; Rotrost	0,0; Rotrost
WW	1,5; Rotrost	Platte fehlt
UW	0,3; Rotrost	Platte fehlt

m: Menge der Blasen, g: Größe von Blasen

Standort	Überwasserzone (ÜW)	Wasserwechselzone (WW)	Unterwasserzone (UW)
Trier			
	Handwritten: Trier ÜW 2013-2018 71	Handwritten: Trier WW 2013-2018 LER 71	Handwritten: Trier UW 2013-2018 LER 71
Windheim		Platte fehlt	Platte fehlt
	Handwritten: Windheim ÜW 71 2013-2018		

System 3: Duplex-System (Dünnschichtverzinkung plus Pulverbeschichtung)

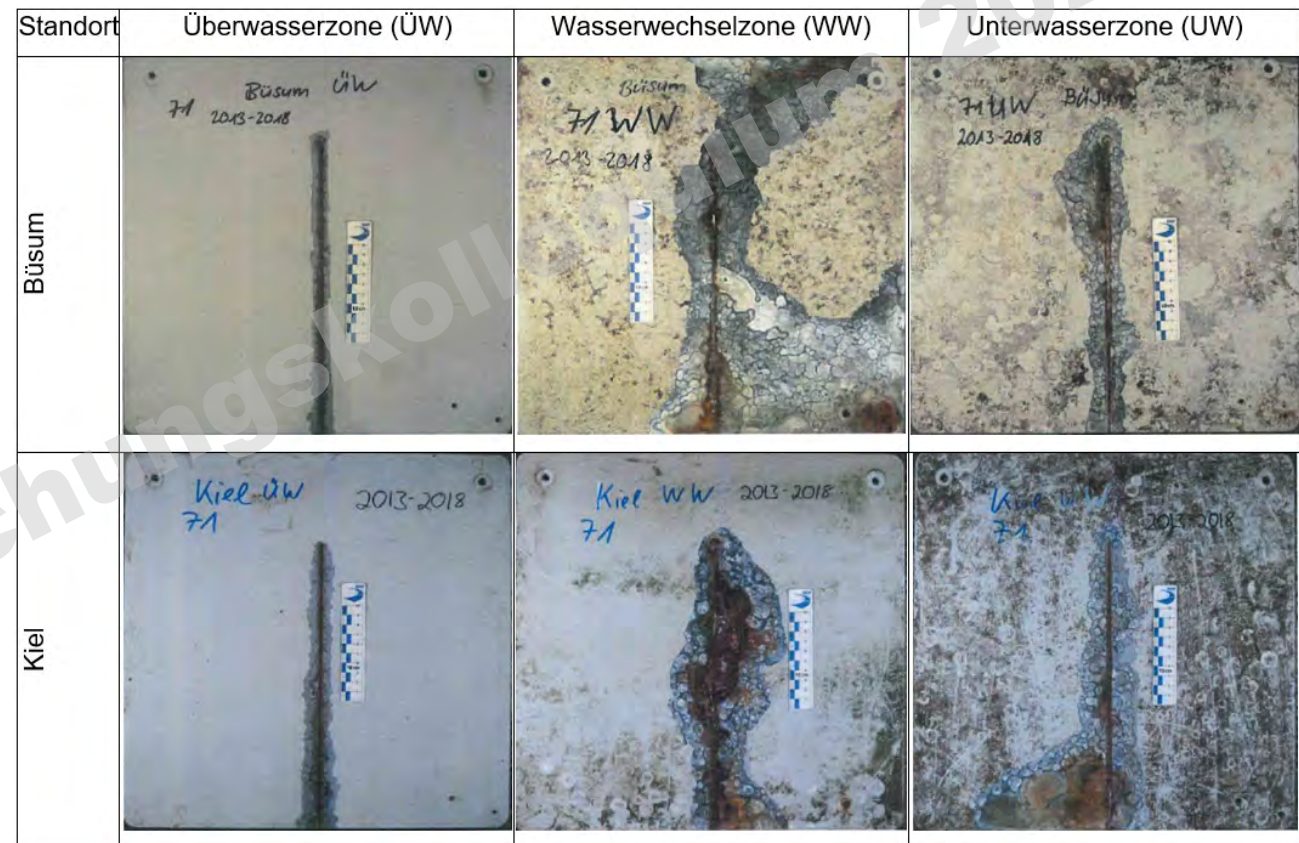
Salz-/Brackwasser (Im2)

BAW Bericht B3951.02.15.10440, Auftraggeber: ZINQ

höhere Korrosivität

Lokalität	Büsum	Kiel
Blasengrad am Ritz		
ÜW	m0/g0	m5/g2
WW	m0/g0	m5/g4
UW	m4/g3	m4/g4
Unterwanderung / Unterrostung am Ritz [mm]		
ÜW	2,8; Rotrost	4,1; Rotrost
WW	4,1; Rotrost; FS	13,7; Rotrost; FS
UW	2,5; Rotrost; FS	3,5; Rotrost; FS

m: Menge der Blasen, g: Größe von Blasen



System 4: Duplex-System (Feuerverzinkung plus Nasslackbeschichtung)

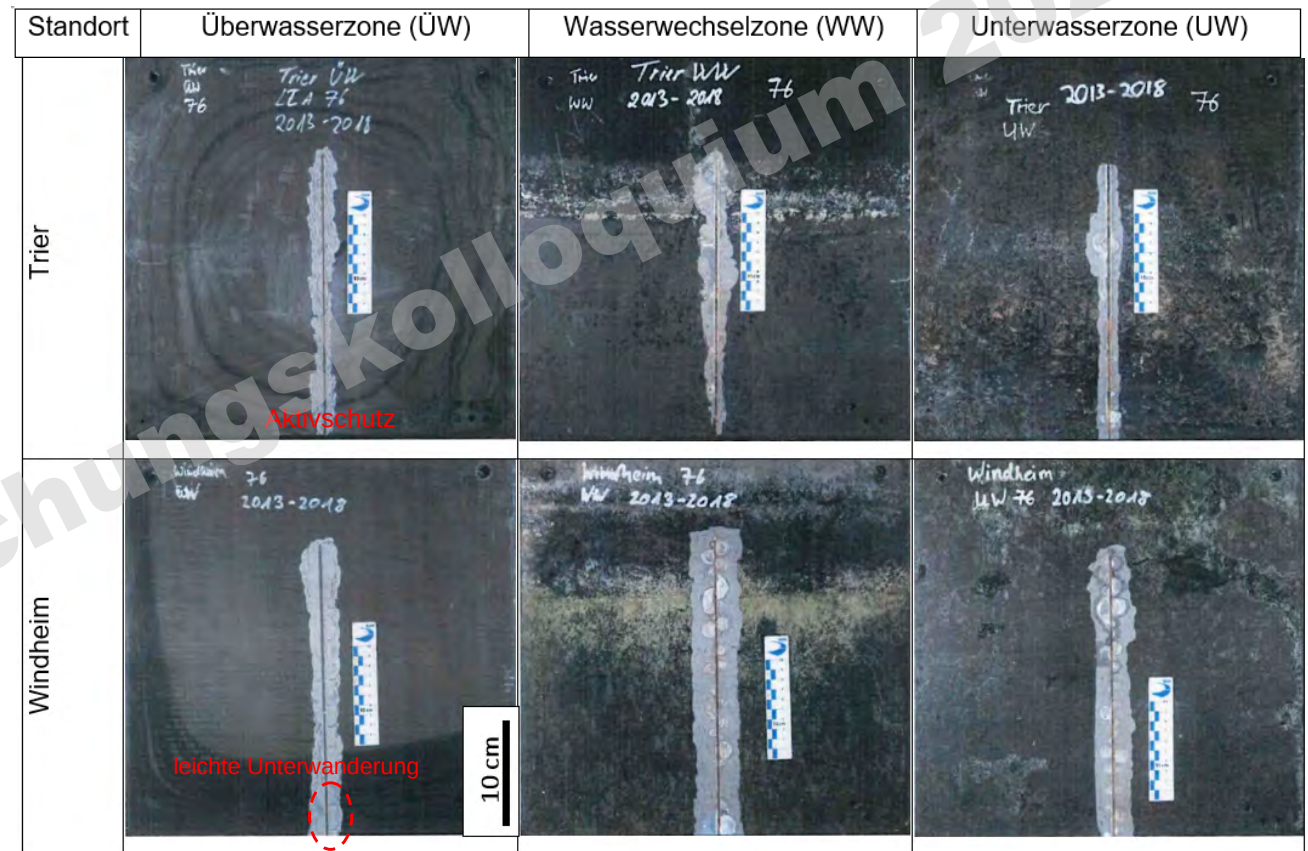
BAW Bericht B3951.02.15.10440, Auftraggeber: ZINQ

Süßwasser (Im1)

gute Beständigkeit

Lokalität	Trier	Windheim
Blasengrad am Ritz		
ÜW	m0/g0	m0/g0
WW	m0/g0	m4/g4
UW	m0/g0	m4/g4
Unterwanderung / Unterrostung am Ritz [mm]		
ÜW	0,1	0,2
WW	0,3	0,4
UW	0,3	0,2

m: Menge der Blasen, g: Größe von Blasen



System 4: Duplex-System (Feuerverzinkung plus Nasslackbeschichtung)

Salz-/Brackwasser (Im2)

BAW Bericht B3951.02.15.10440, Auftraggeber: ZINQ

gute Beständigkeit

Lokalität	Büsum	Kiel
Blasengrad am Ritz		
ÜW	m0/g0	m0/g0
WW	m2/g4	m4/g3
UW	m2/g3	m5/g3
Unterwanderung / Unterrostung am Ritz [mm]		
ÜW	0,2	0,2
WW	0,2	0,9
UW	0,2	0,4

m: Menge der Blasen, g: Größe von Blasen

Standort	Überwasserzone (ÜW)	Wasserwechselzone (WW)	Unterwasserzone (UW)
Büsum			
Kiel			

Allgemein

- hoher Einfluss durch Art des Wassers (Süßwasser, Salzwasser, Brackwasser) und der Immersionszone (ÜW, WW, UW) auf Wirksamkeit des Korrosionsschutzsystems

Feuerverzinken

- ÜW gute Beständigkeit durch Ausbilden einer stabilen Deckschicht (Abtrag von 2 bis 8 μm in 5 Jahren)
- bei direktem Kontakt mit Wasser (WW, UW) reduzierte Beständigkeit, da sich keine stabile Deckschicht bilden kann
- nicht ausreichende Beständigkeit bei 57 μm , jedoch gute Beständigkeit bei 161 μm

Duplex

- bei Süßwasser (Im1) gute Beständigkeit der geprüften Duplex-Systeme
- bei Salz- und Brackwasser (Im2) nicht ausreichende Beständigkeit bei dünnerem Duplex-System, jedoch gute Beständigkeit bei dickerem Duplexsystem

Ziel

- Systeme auf Basis von **Feuerverzinken** als von der BAW zugelassenen Korrosionsschutz **für Stahlwasserbauten** der WSV **nutzbar machen**

Prüfung von Korrosionsschutzsystemen auf Basis von Feuerverzinken

- Systematische Untersuchung des Einflusses der Zinkschichtdicke und der Zinklegierung
- Untersuchung der chemischen Parameter der Gewässer auf die Korrosion der Proben und deren Wechselwirkung
- Betrachtung der Abriebfestigkeit
- Untersuchungen zur konstruktiven Ausbildung und Ausbildbarkeit stahlwasserbautypischer Konstruktionsdetails
- Untersuchungen des Abriebs und daraus resultierende Umweltauswirkungen



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Max Gündel

Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg

Lehrstuhl für Stahlbau und Stahlwasserbau

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Tel.: +49 40 6541-3960

E-Mail: max.guendel@hsu-hh.de



HELMUT SCHMIDT
UNIVERSITÄT

Universität der Bundeswehr Hamburg