

Stand der Regelungen für den Korrosionsschutz von OWEA

HTG-Workshop - Fachausschuss für Korrosionsfragen

www.baw.de

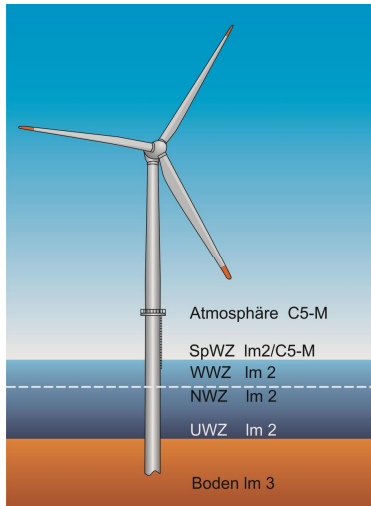


Günter Binder
Bundesanstalt für Wasserbau
Hamburg, 29. Oktober 2014

Inhalt des Vortrags

- Verbesserungspotenzial für den Korrosionsschutz
- Derzeitige Situation der Korrosionsschutzmaßnahmen bei OWEA
 - Konzepte, Zertifizierung, Plausibilisierung, Freigabe 1 bis 3
 - Mindestanforderungen des BSH
 - Stand der Korrosionsschutzmaßnahmen an Strukturen von OWEA
- Stand der Korrosionsschutzmaßnahmen an Strukturen von OWEA
- Stand der Untersuchungen bei BAW
- Stand der internationalen Regelwerke
- Zusammenfassung und Schlussfolgerung

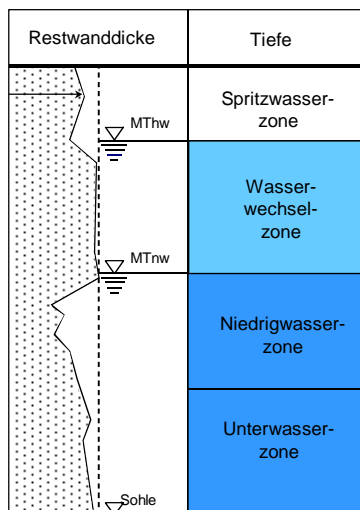
Korrosionszonen - Beispiel Monopile



Unterschiedliche Zonen, je nach Lage zum Wasserspiegel



Korrosionszonen - Beispiel Spundwand



... und vergleichbar mit den üblichen Stahlbauwerken im Meerwasser bzw. an der Küste



Auflistung der Belastungszonen

Schutzbereiche	Lage	Belastung	Anmerkungen
Innen (Zonen, Räumlichkeiten)			
Innen - feucht	oberhalb von WWZ	C4	
Innen - nass	oberhalb von WWZ	C5-M	Meeresatmosphäre
Innen - eingetaucht	unterhalb von WWZ	Im 2	Meerwasser ¹⁾
Innen	Meeresboden	Im 2/3	MIC?
Außen (Zonen)			
Unterwasserzone (UWZ)	Unterhalb der NWZ	Im 2	
Niedrigwasserzone (NWZ)	Tideniedrigwasserstand	Im 2	
Wasserwechselzone (WWZ)	Tide-/Wellenbereich	Im2/C5-M	Eisabrieb
Spritzwasserzone (SprWZ)	Oberhalb WWZ	Im2/C5-M	Übergang Immersion zur Atmosphäre
Atmosphäre	Oberhalb der SprWZ	C5-M	CX ²⁾ zukünftig
Boden	Meeresboden	Im 2/3	MIC!

Unterteilung der verschiedenen Korrosionszonen (Bezug zum Wasserstand)

¹⁾ z.B. Monopiles; ²⁾ ISO 20340



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Regelwerke OWEA Seite 5

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

Mindestanforderungen B2.2 Vorbemerkungen (BSH)

- *Korrosionsschutz stellt sicher, dass avisierte technische Lebensdauer (20 – 25 a) des Bauwerks erhalten bleibt*
- *... emissionsarme Ausführung zum Schutz der Meeresumwelt*
- *bewährte Korrosionsschutzsysteme*



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Regelwerke OWEA Seite 6

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

Genehmigungsablauf – Korrosionsschutz für OWEA

Aufstellen ein Korrosionsschutzkonzepts

1. Freigabe - Entwurfsphase
2. Freigabe – Inhalt „Mindestanforderungen“
Planung, Prüfung beim Zertifizierer
Gliederung und Skizze der Schutzbereiche
Tauglichkeitsnachweis generell und speziell
Beschreibung des Ausbesserungskonzepts
Personenqualifikation (Ausführender)
Einschätzung des möglichen Schadstoffeintrags
KKS-Konzept, bei Galvanischen Anoden: Al-Eintrag
Galvanische Anoden: Sicherstellung des Betriebs
(≈ ausschreibungsfertige Unterlagen)
→ Plausibilisierung(BAW/BSH)
3. Freigabe

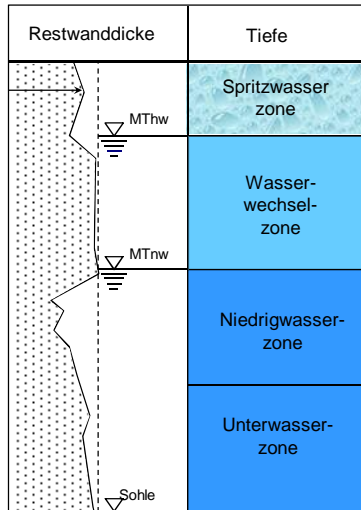


Umweltanforderungen - Metallfreisetzung

- Galvan. Anoden: Materialverbrauch über 25 Jahre, Sicherung der ständigen Verfügbarkeit von Anodenmaterial an/in der Struktur
- Angaben zur Metallanreicherung (in g/m³) durch Galvanische Anoden (worst case) im Wasser des Windparkbereichs



Abrostung nach 20 Jahren - ohne Schutz



SpWZ - MW: $60 \mu\text{m/a} \times 20\text{a} \times 1 = 1,2 \text{ mm}$
 max; $290 \mu\text{m/a} \times 20\text{a} \times 1 = 5,8 \text{ mm}$

WWZ - wie Unterwasserzone

NWZ - MW: $80 \mu\text{m/a} \times 20\text{a} \times 2 = 3,2 \text{ mm}$
 max: $310 \mu\text{m/a} \times 20\text{a} \times 2 = 12,4 \text{ mm}$

UWZ - MW: $42 \mu\text{m/a} \times 20\text{a} \times 2 = 1,7 \text{ mm}$
 max: $145 \mu\text{m/a} \times 20\text{a} \times 2 = 5,8 \text{ mm}$



Bundesanstalt für Wasserbau
 Kompetenz für die Wasserstraßen

Regelwerke OWEA Seite 9

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

KKS-Anlage - Schutzstrombedarf

Objekt: Monopile (D = 5,50 m; L = 43 m; Innenfläche = $17,3 \text{ m} \cdot 43 \text{ m} = 812 \text{ m}^2$)
 unbeschichtet (100 % Baustahl im Meerwasser)

Zu schützende Fläche und erforderlicher Schutzstrombedarf	Fläche [m ²]	x Schutzstromdichte [mA/m ²]	= Schutzstrom gesamt [mA]
• nichtrostender Stahl unbeschichtet	0	200	0
• nichtrostender Stahl beschichtet	0	5	0
• unlegierter Stahl unbeschichtet	812	50	40.600
• unlegierter Stahl beschichtet	0	1	0
• Stahl in Beton (bei Kontakt zum Objekt)	0	5	0
(Werte s. Anlage 4, MKKS)			
Gesamtsschutzstrombedarf (Innen):			= 40.600 mA



Bundesanstalt für Wasserbau
 Kompetenz für die Wasserstraßen

Regelwerke OWEA Seite 10

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

KKS-Anlage - Aluminiumbedarf

Anodenmaterial: Aluminium, praktischer Strominhalt = 2.900 Ah/kg

Erforderliche Anodenmasse in [kg] pro Jahr (nur Innen):

$$\frac{\text{Schutzstrombedarf}}{\text{Stromenergie Aluminium}} = \frac{40,6 \text{ A} \cdot 8.760 \text{ h/Jahr}}{2.900 \text{ Ah/kg}} = \underline{123 \text{ kg/a}}$$

Erforderliche Anodenmasse in 25 Jahren: 3.075 kg Al pro Pile!



Mindestanforderungen BSH - Umweltschutz

Al-Verbrauch: Konzentrationsanreicherung im Wasser in ppm: g/m³ bzw. ppb: mg/m³

100 Strukturen auf einer Fläche von 60 km² und 43 m Wassertiefe in 25 Jahren:

$$\mathbf{Al\ conc. = \frac{307.500.000\ g\ Al}{2.580.000.000\ m^3} = 0,12\ ppm \cong 120\ ppb\ Al}$$

Aktuell 0,01 bis 0,5 ppb Aluminium im Wasser



Mindestanforderungen, Anhang 5, BSH

- Tauglichkeitsnachweis entsprechend den Regelwerken
- Korrosionsschutztest der Schutzsysteme (Regelwerk der Zulassungsprüfung; weitere, darüberhinausgehende Nachweise, wie z.B. Abrieb, KKS-Tauglichkeit, ...)



Prüfung	Meeresatmosphäre		Immersion / Meer		Korrosionsschutz- prüfungen nach verschiedenen Regelwerken und Standards
	TL/TP-KOR C5-M	ISO 20340 C5-M	RPB ¹⁾ lm ²	ISO 20340 lm ²	
Immersion DIN EN ISO 2812-2 (NaCl)			3.000 h	4.200 h	
„ΔT-Test“ DIN EN ISO 6270-1	720 h				
Salzsprühnebeltest DIN EN ISO 9227	2.100 h ²⁾		1.440 h		
Zyklustest ISO 20340		4.200 h			
Langzeitauslagerung in der Natur (LZA)	ein Jahr ³⁾		5 Jahre		
DIN EN ISO 15711 Delamination				4.200 h	
KKS-Beständigkeit (BAW)			15 Monate		
Abrasion (BAW)			40.000 U.		
Farbbeständigkeit DIN EN ISO 11341	2.000 h				
Stoßbelastung DIN 6272			1,5 kg, 100 cm		



Liste der empfohlenen Beschichtungssysteme für den Stahl(wasser)bau & Offshore-Bereich

System-Nr.	Oberflächen-vorbereitung		Grundbeschichtung			Zwischen- und Deck-beschichtung			Gesamt		Einsatz-empfehlung
	≥ Sa 2½	P Sa 2½	Bindemittel	Pigment	n TFD[µm]	Bindemittel	n TFD[µm]	n TFD[µm]	n TFD[µm]		
BAW 3-5	X		EP, PUR	Zn	1 50	EP, PUR	1-3 450	4 500		Im2/3	
BAW 9	X	X	EP	Fe-Gl	1 100	EP	2 400	3 500		Im2/3	
BAW 10-11	X		EP	Zn	1 50	EP, PUR	2 950	3 1000		Im2/3	
BAW 12-13	X		EP	Zn	1 50	EP, PUR	2 1950	3 2000		Im2/3	
ISO 20340			?	div.	1 ≥150	?	2 200	3 ≥350		Im2 offshore	
ISO 20340						?	1 ≥800	1 ≥800		Im2 offshore*	
Norsok A.7			?			EP	2 350	2 350		Im2*	
ISO 20340			?	Zn	1 ≥40	?	≥2 410	≥3 ≥450		Im2/C5-M offshore	
ISO 20340			?	div.	1 ≥60	?	≥2 390	≥3 ≥450		Im2/C5-M offshore	
ISO 20340			?	div.	≥200	?	≥2 400	≥2 ≥600		Im2/C5-M offshore	
Norsok A.1			EP	Zn	1 60	?	3 220	4 280		C5-M	
ZTV Bl. 87			EP	Zn	1 50	EP/PUR	3 240	4 290		C5-M "> lang"	
ISO 20340			?	Zn	1 >40	?	3 240	4 280		C5-M offshore	
ISO 20340			?	div.	1 >60	?	3 240	4 >350		C5-M offshore	

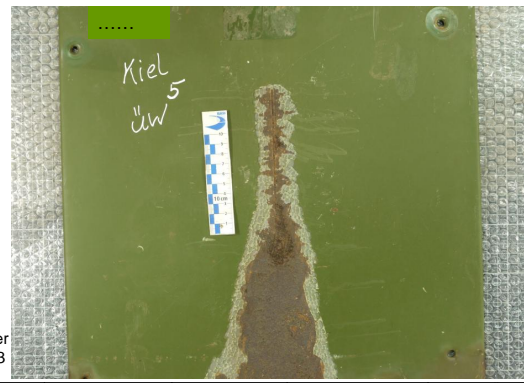


„Systemfrage“ und Frage der Prüfergebnisse ...

- Wie gut sind die Schutzsysteme nach ISO 20340 und NORSOK A.7 ?
 - Ist die Schichtdicke ausreichend?
 - Genügt eine Schicht ohne Grundbeschichtung ?
- Sind Laborprüfungen (z.B. Zyklus- bzw. Salzsprühnebeltest) ausreichend?



Zulassungsprüfung und Langzeitauslagerung - Fallbeispiel



* Brackwasser
2008 bis 2013

DFT 700 µm	Salzsprühnebel	LZA Im2 UWZ	LZA Im2/C5 WWZ	LZA C5 UWZ
Zn-Staub-freies Einschichtsystem (BAW-System Nr. 8 bzw. NORSOKA.7) links: Salzsprühnebel rechts: LZA	Unterrostung [mm] 0,6 / 0,4 / 0,7	1,9	23,3	18,0
	Unterwanderung [mm] 0,9 / 0,7 / 1,1			
	*Grenz-/Richtwert [mm]	1,0	2,5	10
				6



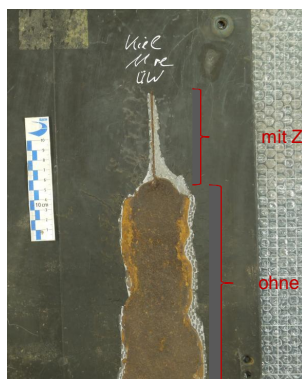
Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Regelwerke OWEA Seite 17

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

Unterrostung an Prüftafeln der LZA im Brackwasser

Überwasserzone nach fünf Jahren Auslagerung (Kiel, 2008 bis 2013)



mit Zn-Staub-GB

ohne Zn-Staub-GB



Einschichtsystem mit 600 µm DFT (BAW System Nr. 8 bzw. NORSOK A.7) in Überwasserzone; oben: mit Zn-Staub-GB

Mehrschichtsystem mit Zn-PUR (50µm), 3x PUR (450µm) und 500µm DFT (BAW System Nr. 4)



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Regelwerke OWEA Seite 18

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

Schäden an Strukturen von OWEA



Häufiges Erscheinungsbild: Abplatzungen, Unterwanderung und Korrosion (Foto Heins, EnBW)



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

Regelwerke OWEA Seite 19

Erfahrungen weltweit

„all systems tested according ISO 20340 (table 3) with allowed corrosion at the scribe of 8 mm failed on oil-platforms; we need therefore systems that pass the cycle test with corrosion creep of maximal 3 mm (see table 5)“

Lamige, total france (april 2014, member of WG 9 and WG 6)



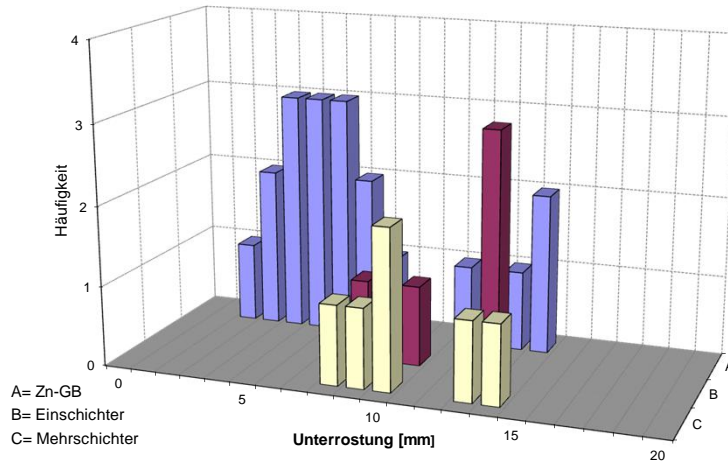
Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

Regelwerke OWEA Seite 20

Unterrostungswerte

verschiedene Schutzsysteme Brackwasser, WWZ (LZA 2003-08)



Unterrostungswerte bei LZA im Vergleich

LZA 2008 bis 2013 Brackwasser

Lage zum Wasserspiegel Systemaufbau	Unterwasserzone (lm ²)	Wasserwechselzone (lm ² / C5-M)	Überwasserzone* (C5-M)
Zn-Staub GB + ZB + DB	1,3 (±1,1)	9,5 (±4,0)	2,4 (±6,0)
GB + ZB + DB	1,3 (±0,7)	10,9 (±6,4)	7,7 (±5,8)
DB	2,4 (±2,2)	16,7 (±5,2)	26,9 (±9,8)
Richtwerte nach RPB	2,5	10	6

* ähnlich einer Spritzwasserzone (lm²/C5-M)

Systeme ohne Grundbeschichtung „DB“:

Unterrostungen erhöhen sich mit dem Abstand zum Wasserspiegel!



Erfahrungen Nordsee - Fino 1

„an der Struktur, welche mit Systemen nach ZTV-ING/ZTV-W Systemen beschichtet worden sind, gibt es nur geringe Schäden durch Unterrostung“

Müller, PPC Emden, Gutachten bzw. workshop HTG, Oktober, 2013

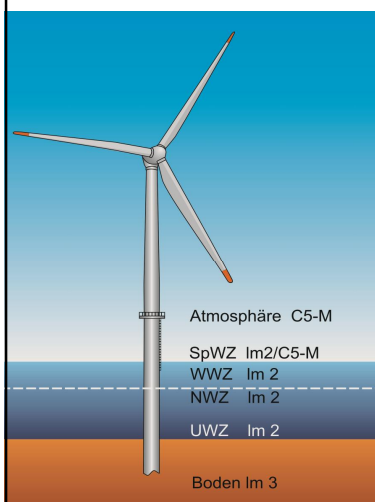


Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Regelwerke OWEA Seite 23

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

Korrosionsschutzsystem - Beispiel Monopile



Zone	GB	ZB	ZB	DB	DFT µm
Atmosph.	Zn 50*	EP 80	EP 80	PUR**80	290
SprWZ	Zn	EP/PUR	EP/PUR	PUR 80	290
WWZ	Zn	EP/PUR	EP/PUR	PUR 80	500+.***
NWZ	Zn	EP/PUR	gfls.	EP/PUR	500
UWZ	Zn	EP/PUR	gfls.	EP/PUR	500
Boden	Zn	EP/PUR	gfls.	EP/PUR	500

Vorteile:

Zn-GB über die gesamte Länge einheitlich
Unterrostungsschutz optimal + KKS-tauglich!!
Vielseitig geprüfte und bewährte Systeme

*in µm nach ISO 19840, ** 2K, *** bei Eisabrieb



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Regelwerke OWEA Seite 24

Bautechnik · Stahlbau Korrosionsschutz · Günter Binder · 29. Oktober 2014

Liste der empfohlenen Beschichtungssysteme für den Stahl(wasser)bau & Offshore-Bereich

System-Nr.	Grundbeschichtung				Zwischen- und Deckbeschichtung			Gesamt		Bemerkung
	Bindemittel	Pigment	n	TFD [μm]	Bindemittel	n	TFD [μm]	n	TFD [μm]	
1-2	EP, PUR 1K	Zn	1	50	EP, PUR 1K	2	300	3	350	Kondensations-Klima
3-5	EP, PUR 1K	Zn	1	50	EP, PUR 1K	1-3	450	2-4	500	Im2, feingliedrige Bauwerke
6-7					EP, PUR	2-3	500	2-3	500	Im2, feingliedrige Bauwerke
8					EP	1	500	1	500	Im1, glatte Fläche
9	EP, PUR 1K	div.	1	100	EP, PUR 1K	1-3	400	2-4	500	Im1/2, zur Reparatur
10-11	EP, PUR	Zn	1	50	EP, PUR	1-2	950	2-3	1000	Im2, für hohe Abrasion
12-13					EP, PUR, PES	1-2	1000	1-2	1000	Im1, für hohe Abrasion
14-17	EP, PUR	Zn	1	50	EP, PUR	1-4	1950	2-5	2000	Im2, für extr. hohe Abrasion
18-22					EP, PUR, PES	1-4	2000	1-4	2000	Im1, für extr. hohe Abrasion



Zusammenfassung und Schlussfolgerung

- Verbesserungspotenzial für den Korrosionsschutz ist gegeben
- Stand der internationalen Regelwerke
- Stand der Mindestanforderungen des BSH: Ständige Entwicklung
- Erfahrungen bei Korrosionsschutzmaßnahmen an OWEA
 - KKS mit Galvanischen Anoden ohne Beschichtung nicht zielführend
 - Ausgewählte Stoffe und Systeme bedürfen einer Optimierung ...
 - bei Zulassungen sind verstärkt Langzeitauslagerungsversuche hinzuzuziehen - Detaillergebnisse von Untersuchungen durch BAW
- Regelwerke zu Schutzsystemen für OWEA in Kürze erstellt



Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit!

