

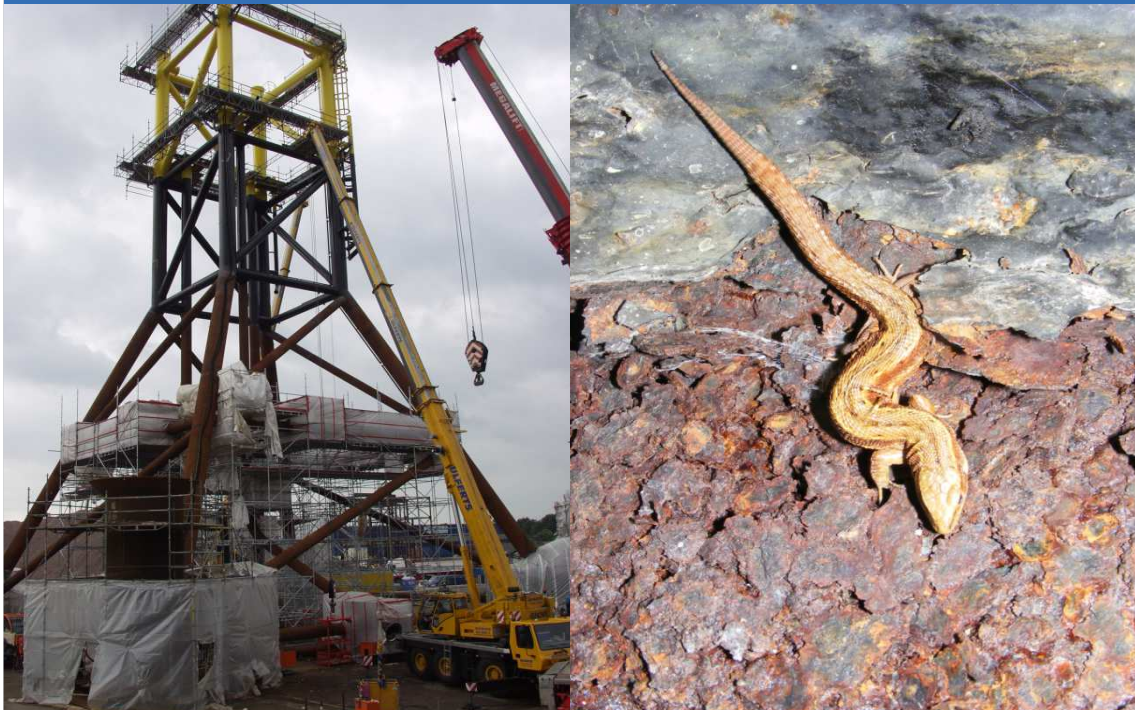
Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen



Stand der Regelungen für den Korrosionsschutz von OWEA

HTG-Workshop - Fachausschuss für Korrosionsfragen

www.baw.de



Günter Binder

Bundesanstalt für Wasserbau

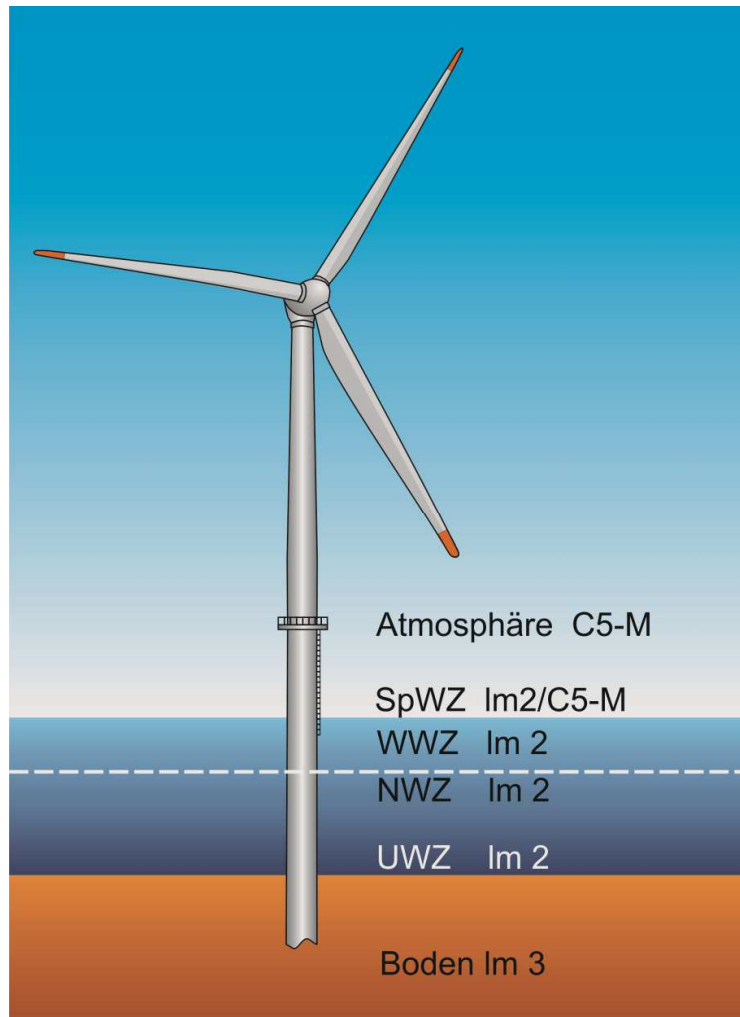
Hamburg, 29. Oktober 2014

Inhalt des Vortrags

- Verbesserungspotenzial für den Korrosionsschutz bei OWEA !?
- Derzeitige Situation der Regelungen für OWEA
 - Entwurf, Konkretisierung, Zertifizierung, Plausibilisierung, Freigabe 1 bis 3
 - Standard - Mindestanforderungen des BSH
 - Korrosionsschutzregelungen für Strukturen der OWEA
- Stand der Korrosionsschutzmaßnahmen an Tragstrukturen von OWEA
- Stand der Untersuchungen bei BAW
- Stand der internationalen Regelwerke
- Zusammenfassung und Schlussfolgerung

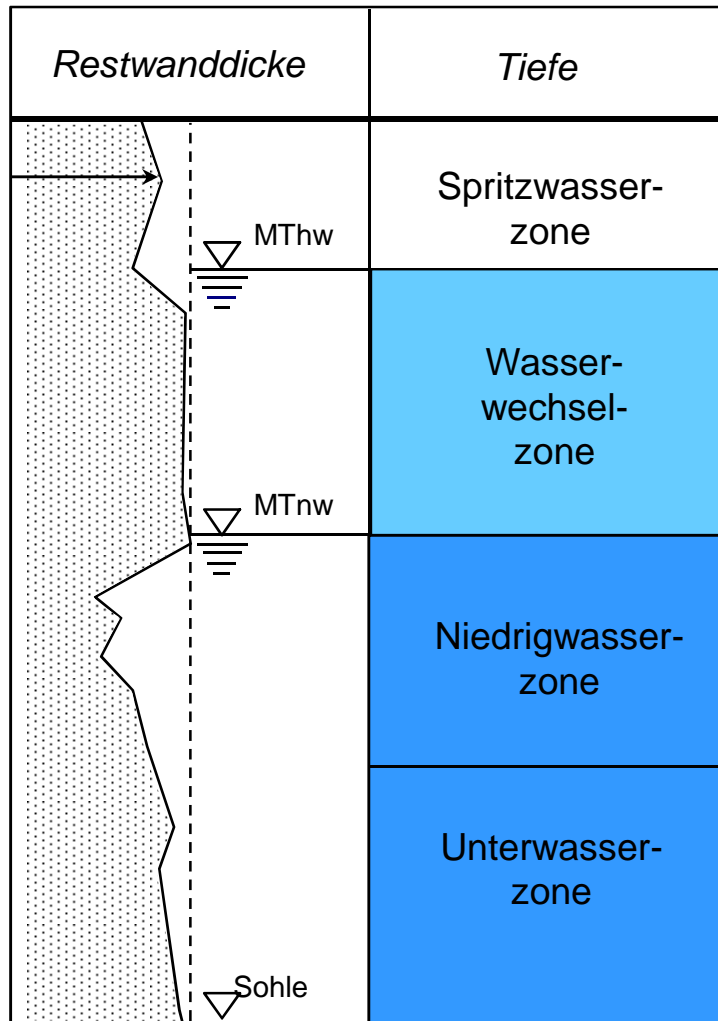


Korrosionszonen - Beispiel Monopile



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



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*



Genehmigungsablauf – Korrosionsschutz für OWEA

Aufstellen eines Korrosionsschutzkonzepts

1. **Freigabe** - Entwurfsphase

2. **Freigabe** – Inhalt der *Mindestanforderungen* für Konkretisierungsphase

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, umsetzbare Unterlagen)

→ Plausibilisierung(BAW/BSH)

3. **Freigabe**



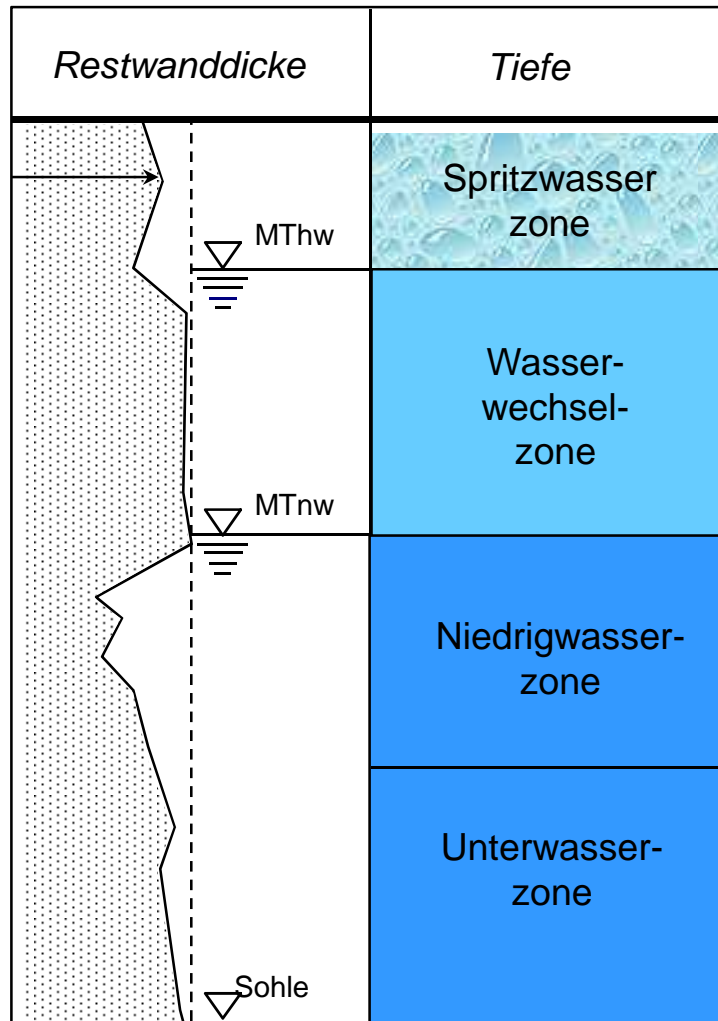
Umweltanforderungen – Beispiel Metallfreisetzung

- Galvanische Anoden („Opferanoden“): 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 „abgeschlossenen Bereich“ des Meerwassers eines Windparks



Abrostung* nach 20 Jahren - ohne Schutz

* Werte nach DIN 50929, Beiblatt



SpWZ (MW): $60\mu\text{m/a} \times 20\text{a} \times 1 = 1,2 \text{ m}$
 (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): $145 \mu\text{m/a} \times 20\text{a} \times 2 = 5,8 \text{ mm}$

KKS-Anlage - Schutzstrombedarf

Objekt: Monopile (D = 5,50 m; L = 43 m; Innenfläche = 17,3 m · 43 m = 812 m²)
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) (Werte s. Anlage 4, MKKS)	0	5	0
<u>Gesamt</u>schutzstrombedarf (Innen):			<u>40.600 mA</u>

KKS-Anlage – Galvanische Anoden

Anodenmaterial: Aluminium, feste Installation oder im Nachführprinzip



KKS ohne Beschichtung → Schutzstrombedarf ca. 50fach erhöht (s. oben)



KKS-Anlage - Aluminiumbedarf

Anodenmaterial: Aluminium, praktischer Strominhalt = 2.900 Ah/kg

Erforderliche Anodenmasse in kg pro Jahr (nur Innen):

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

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:

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

Aktuell **0,01 bis 0,5 ppb Al** im Meerwasser → deutliche Erhöhung der Konzentration



Mindestanforderungen BSH, Anhang 5: Korrosionsschutzkonzept

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

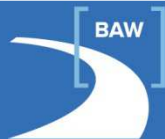


Prüfung	Meeresatmosphäre		Immersion / Meer	
	TL/TP-KOR C5-M	ISO 20340 C5-M	RPB ¹⁾ lm2	ISO 20340 lm2
Immersion DIN EN ISO 2812-2 (NaCl)			3.000 h	4.200 h
„ΔT-Test“ DIN EN ISO 6270-1	720 h			
Salzsprühnebeltest DIN EN ISO 9227	2.100 h ²⁾		1.440 h	
Zyklustest ISO 20340		4.200 h		
Langzeitauslagerung in 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	

Korrosionsschutz- prüfungen

nach verschiedenen
Regelwerken und Standards

1) Richtlinie zur Prüfung von
Beschichtungsstoffen, BAW



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]
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

* Grenzwert der UR nach Zyklustest: 8 mm; Zn-Staub-Systeme: 3 mm



„Systemfrage“ und Frage der Prüfergebnisse ...

- ... wie gut sind die Schutzsysteme nach ISO 20340 und NORSOK A.7 ?
 - Ist die Schichtdicke ausreichend?
 - Genügt ein Schichtaufbau ohne Grundbeschichtung ?
- ... welche Aussagekraft besitzen Laborprüfungen (z.B. Zyklus- bzw. Salzsprühnebeltest)?



Zulassungsprüfung und Langzeitauslagerung - Fallbeispiel

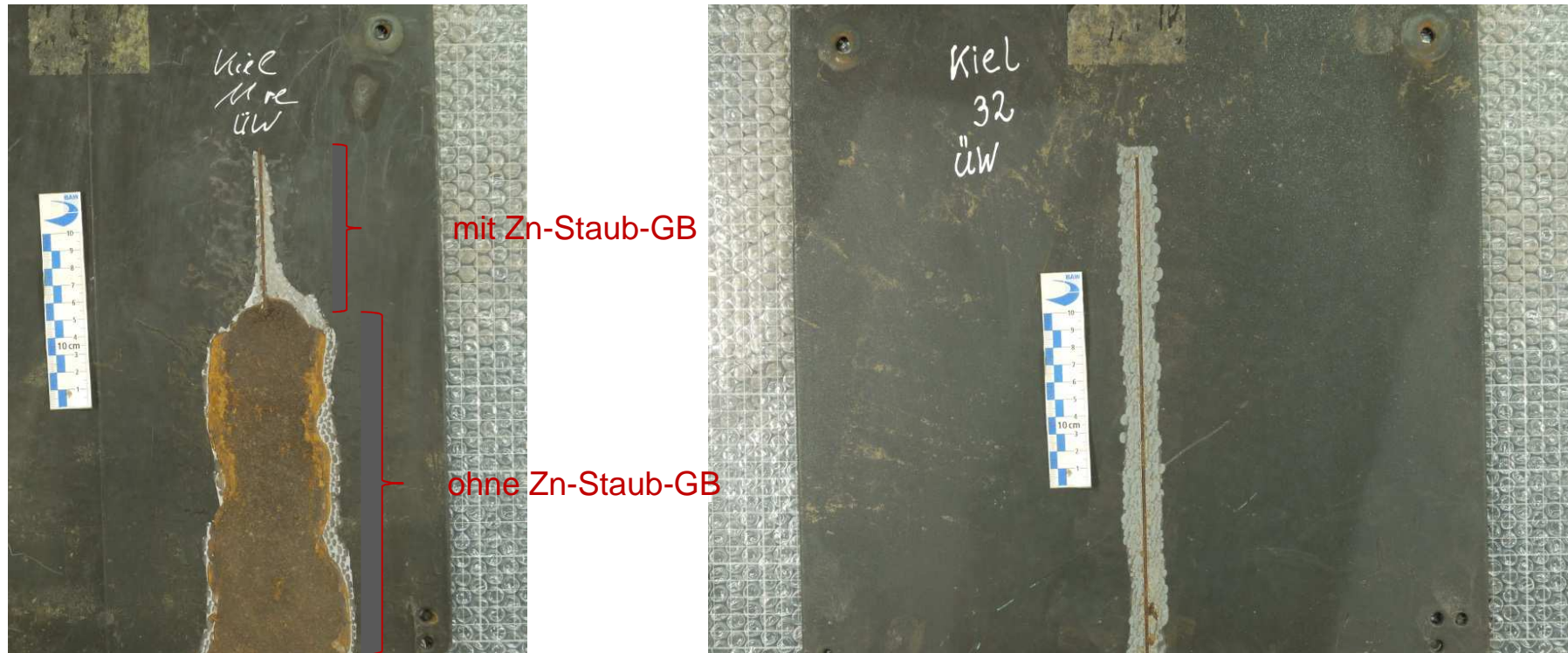


Zn-Staub-freies Einschichtsystem
(BAW-System Nr. 8 bzw. NORSOKA.7)
links: nach Salzsprühnebeltest
rechts: LZA , Brackwasser 2008-2013

DFT 700 µm	Salzsprühnebel	LZA 1m2 ÜWZ	LZA 1m2/C5 WWZ	LZA C5 ÜWZ
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



Unterrostung an Prüftafeln der LZA im Brackwasser Überwasserzone nach fünf Jahren Auslagerung (Kiel, 2008 bis 2013)



Einschichtsystem mit 600 µm DFT (BAW System Nr. 8 bzw. NORSOK A.7) in ÜWZ
obere Hälfte: mit Zn-Staub-GB

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

Schäden an Strukturen von OWEA



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



Erfahrungen weltweit

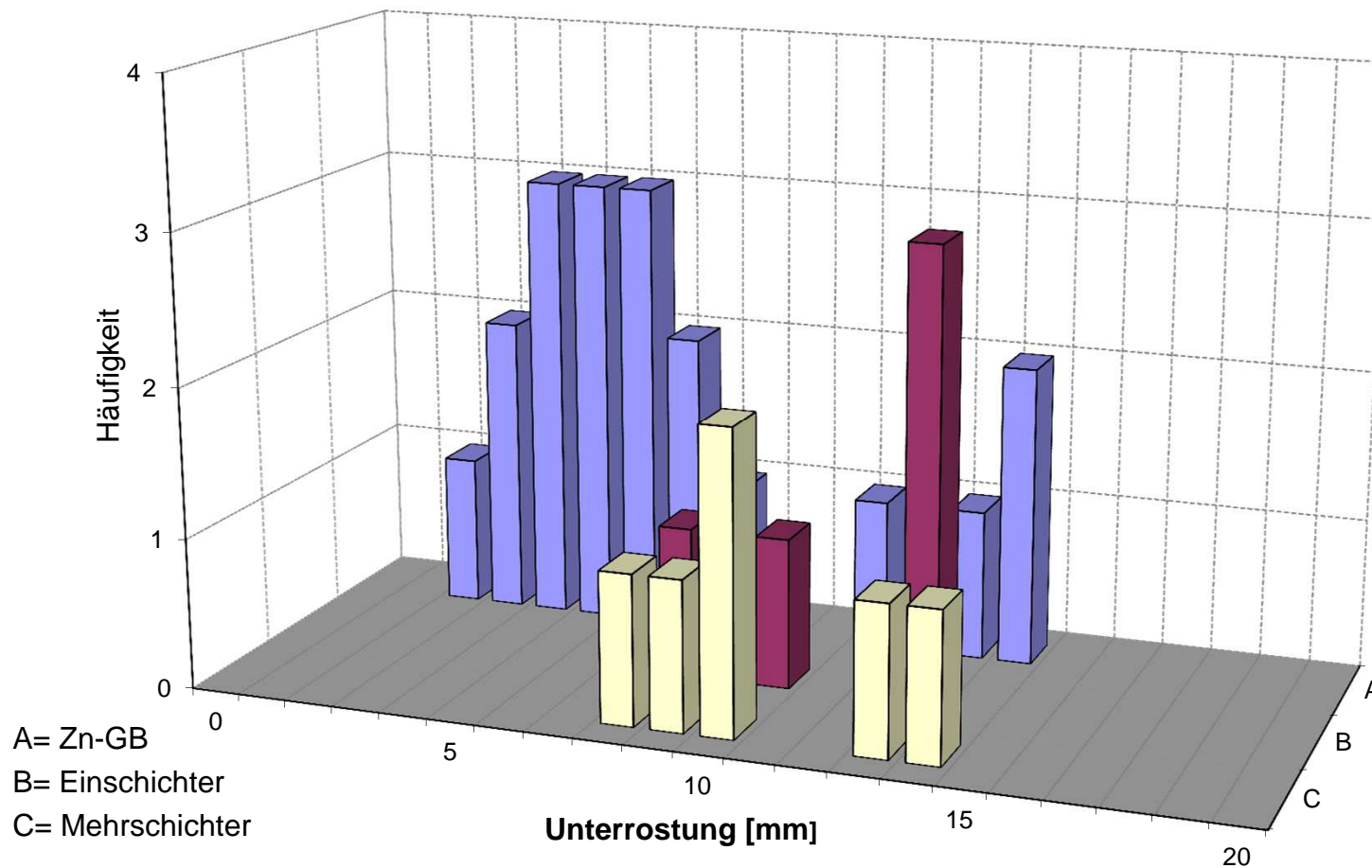
„all systems tested according ISO 20340 (table 3) with allowed corrosion at the scribe of 8 mm failed on oil-platforms; we need therefore systems that pass the cycle test with corrosion creep of maximal 3 mm (see table 5)“

J.-P. Lamige, elf france (april 2014, member of WG 9 and WG 6)



Unterrostungswerte

verschiedene Schutzsysteme Brackwasser, WWZ (LZA 2003-08)



Unterrostungswerte bei LZA im Vergleich

LZA 2008 bis 2013 Brackwasser

Lage zum Wasserspiegel Systemaufbau	Unterswasserzone (lm ²)	Wasserwechselzone (lm ² / C5-M)	Überswasserzone* (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!



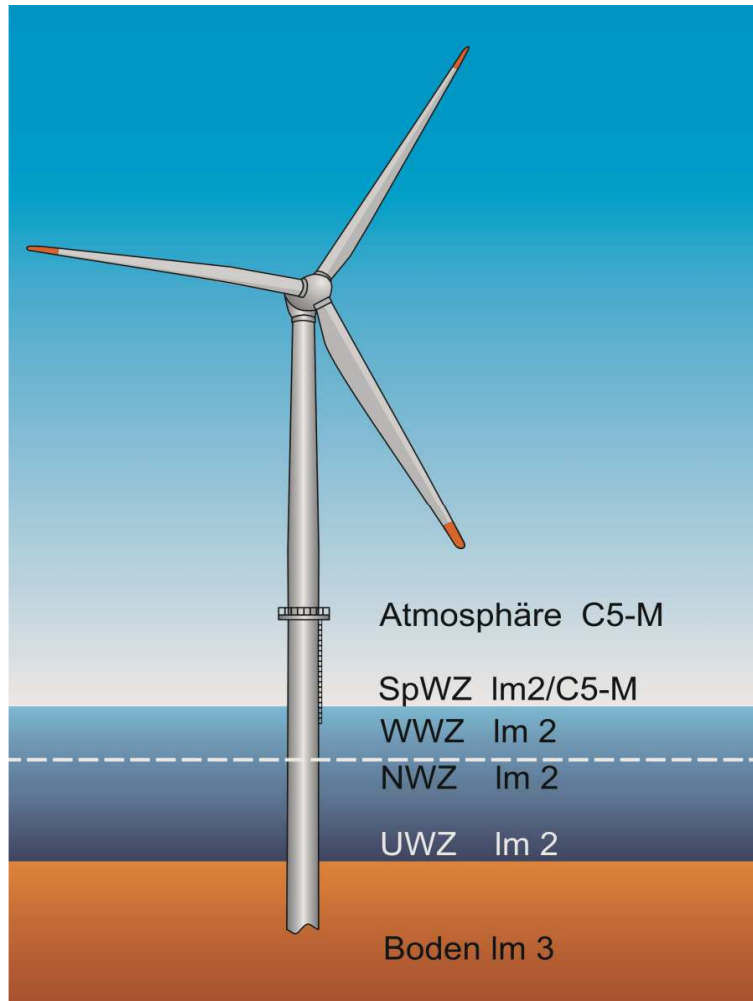
Erfahrungen Nordsee - Fino 1

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

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



Korrosionsschutzsystem - Beispiel Monopile



Zone	GB	1. ZB	2. 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	ggf.	EP/PUR	500
UWZ	Zn	EP/PUR	ggf.	EP/PUR	500
Boden	Zn	EP/PUR	ggf.	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



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]	Einsatzempfehlung
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 an OWEA ist gegeben
- Stand der internationalen Regelwerke: Gleiche UR-Werte für alle Systeme
- Stand der *Mindestanforderungen* des BSH: Ständige Entwicklung
- Erfahrungen bei Korrosionsschutzmaßnahmen an OWEA
 - KKS mit Galvanischen Anoden ohne Beschichtung nicht zielführend
 - Auswahl der Stoffe bzw. Schutzsysteme bedürfen einer Optimierung ...
 - bei Zulassungen sind verstärkt Langzeitauslagerungsversuche hinzuzuziehen - Detailergebnisse von Untersuchungen durch BAW
- Regelwerk zu Schutzsystemen für OWEA soll in Kürze erstellt werden



Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit!

