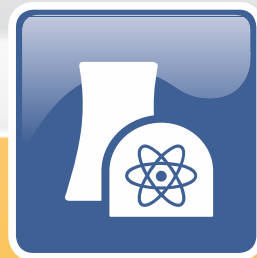




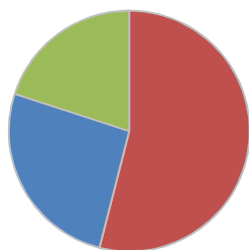
VGB/BAW-Standard S-021 Korrosionsschutz für OWEA

Christian Stolzenberger, VGB Power Tech e.V..



- **VGB PowerTech**
- VGB/BAW Standard S-021
*Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen
und Windparkkomponenten*
- Teil 1: Korrosionsschutz
- Teil 2: Anforderungen an Beschichtungssysteme
- Teil 3: Applikation von Beschichtungssystemen
- Teil 4: Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)
- Ausblick

- VGB PowerTech hat **488 Mitglieder in 35 Ländern**, über 90 % sind in Europa.
- VGB PowerTech representiert eine installierte Leistung von **461 GW**, die auf einem breiten Energiemix beruht und alle Quellen der Strom- und Wärmeerzeugung abdeckt.

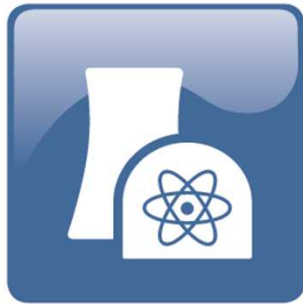


- Fossil
- Nuclear
- Renewables



VGB ist der internationale technische Fachverband für die Erzeugung und Speicherung von Strom und Wärme

VGB PowerTech bearbeitet in 5 Kompetenzfeldern alle technischen Fragen zur Strom- und Wärmeerzeugung:



Kernkraftwerke



Kraftwerks-
technologien



Erneuerbare,
Dezentrale
Erzeugung



Umweltechnik,
Chemie,
Sicherheit und
Gesundheit



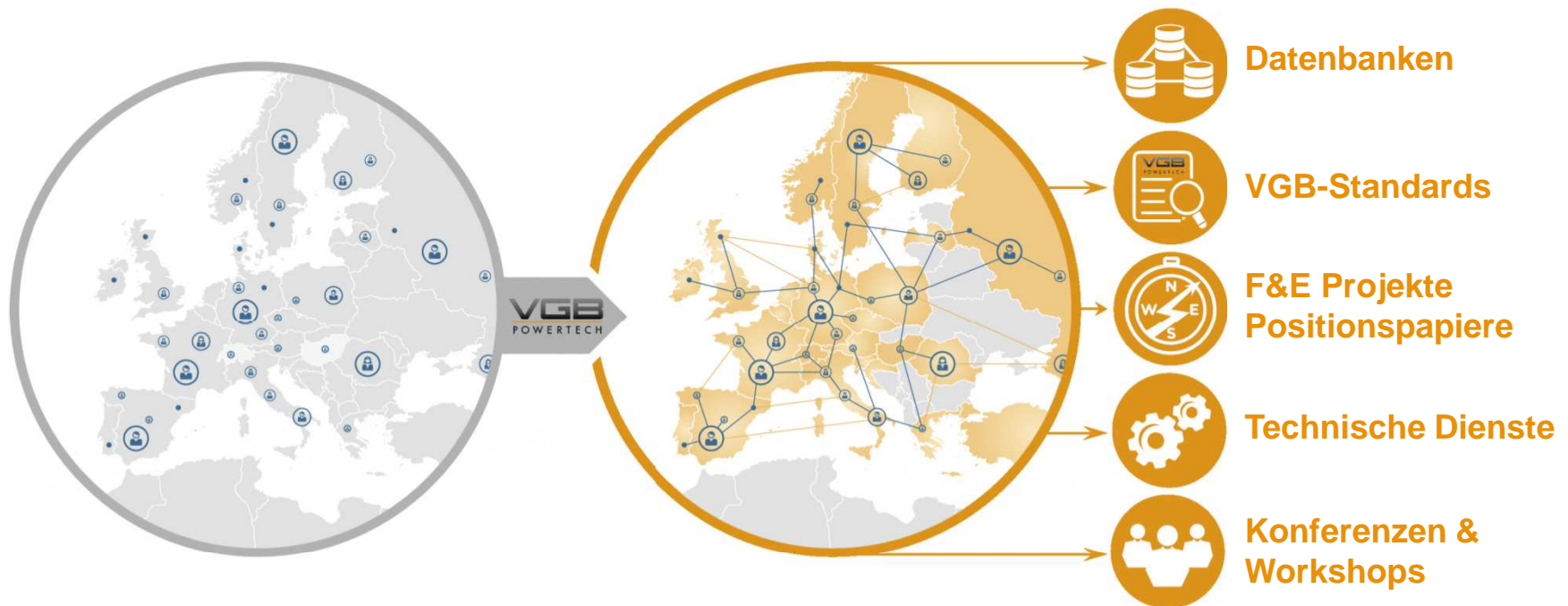
Technische
Dienste

Seit seiner Gründung im Jahr 1920, hat sich VGB PowerTech zum technischen Kompetenzzentrum der Betreiber entwickelt. Die Mitgliedschaft ist offen für Unternehmen und Institutionen, die aktiv sind im Bereich der Strom- und Wärmeerzeugung inkl. Speicherung

Wie arbeitet VGB PowerTech?

Mehr als 1,700 Experten sind aktiv im VGB Netzwerk.

Erfahrungsaustausch ist die Grundlage aller unserer Aktivitäten.



www.vgb.org

- VGB PowerTech
- **VGB/BAW Standard S-021**
***Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen
und Windparkkomponenten***
- Teil 1: Korrosionsschutz
- Teil 2: Anforderungen an Beschichtungssysteme
- Teil 3: Applikation von Beschichtungssystemen
- Teil 4: Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)
- Ausblick

VGB PowerTech und die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) haben einen gemeinsamen technischen Standard für Offshore-Bauwerke entwickelt um

- Installations- und Betriebskosten zu senken
- Betriebssicherheit zu erhöhen
- Offshore-Bauwerke üblicherweise mindestens 25 Jahre und länger vor Korrosionsschäden zu schützen

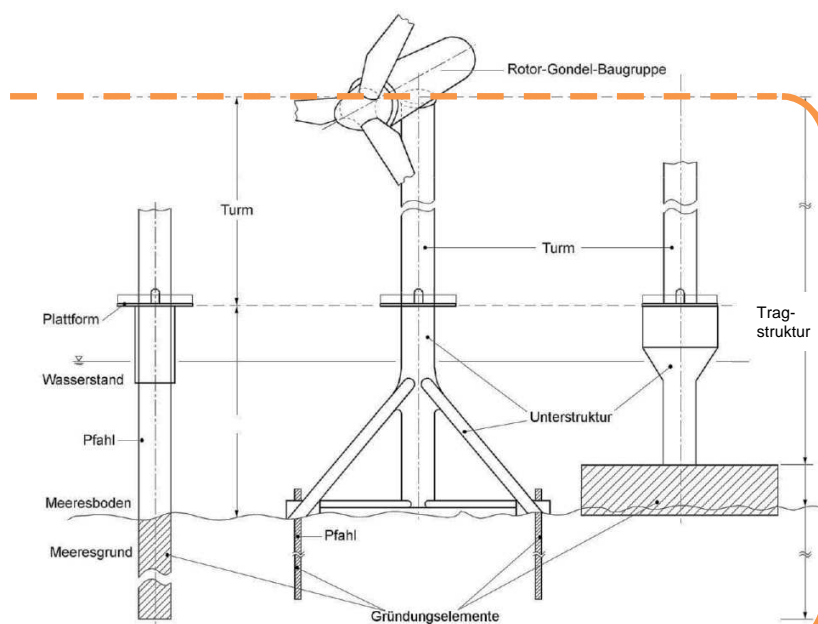
Nr.	Titel	Status
1	Korrosionsschutz (Allgemein)	Veröffentlicht, in Revision
2	Anforderungen an Beschichtungssysteme	Veröffentlicht, in Revision
3	Applikation von Beschichtungssystemen	Veröffentlicht, in Revision
4	Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)	In Veröffentlichung
5	Reparatur von Beschichtungssystemen	In Planung
6	Monitoring	In Planung

Mitteilung des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) vom Freitag, 23. September 2016

- Der VGB/BAW Standard S-021 wird nunmehr vom BSH als technische Ergänzung zum Standard Konstruktion (2015) in die Planfeststellungsverfahren verbindlich eingeführt, um die Planungssicherheit für die Projekte bzgl. der technischen Anforderungen an den Korrosionsschutz weiter zu erhöhen und rechtzeitig für die Ausschreibungsverfahren nach dem WindSeeG auf konkretisierte technische Mindestanforderungen hinzuweisen.

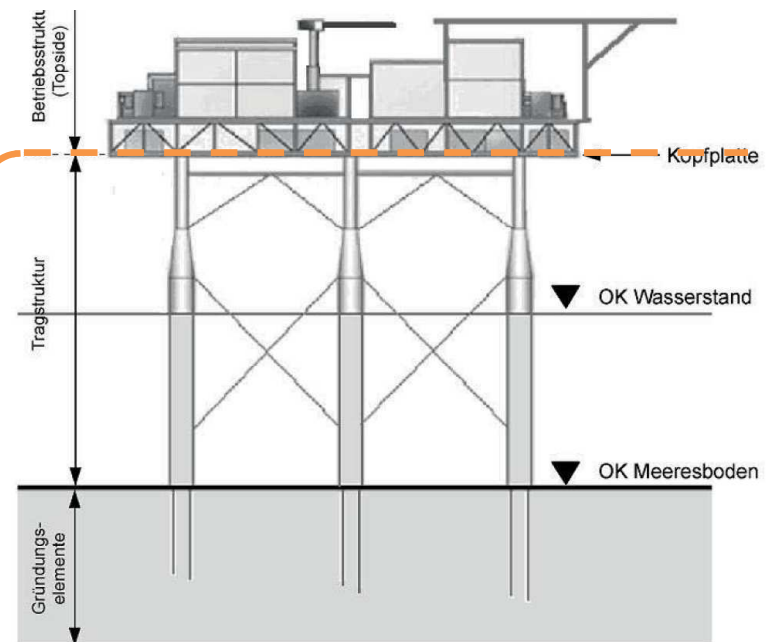
Geltungsbereich - wasser- und atmosphärisch belastete Komponenten:

- lokal fixierte Einbindungen in den Meeresboden (Gründungselemente)
- Tragstrukturen
 - bei Offshore-WEA: Turm und Unterstruktur,
 - bei Offshore-Stationen: Unterstruktur sowie ggf. tragende Bestandteile der Betriebsstruktur und
- weiterer Offshore-Windparkkomponenten wie Messmast, Wohnplattform



Offshore-WEA

Geltungsbereich



Quelle: BSH Standard Konstruktion
Offshore-Station

- VGB PowerTech
- VGB/BAW Standard S-021
*Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen
und Windparkkomponenten*
- **Teil 1: Korrosionsschutz**
- Teil 2: Anforderungen an Beschichtungssysteme
- Teil 3: Applikation von Beschichtungssystemen
- Teil 4: Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)
- Ausblick

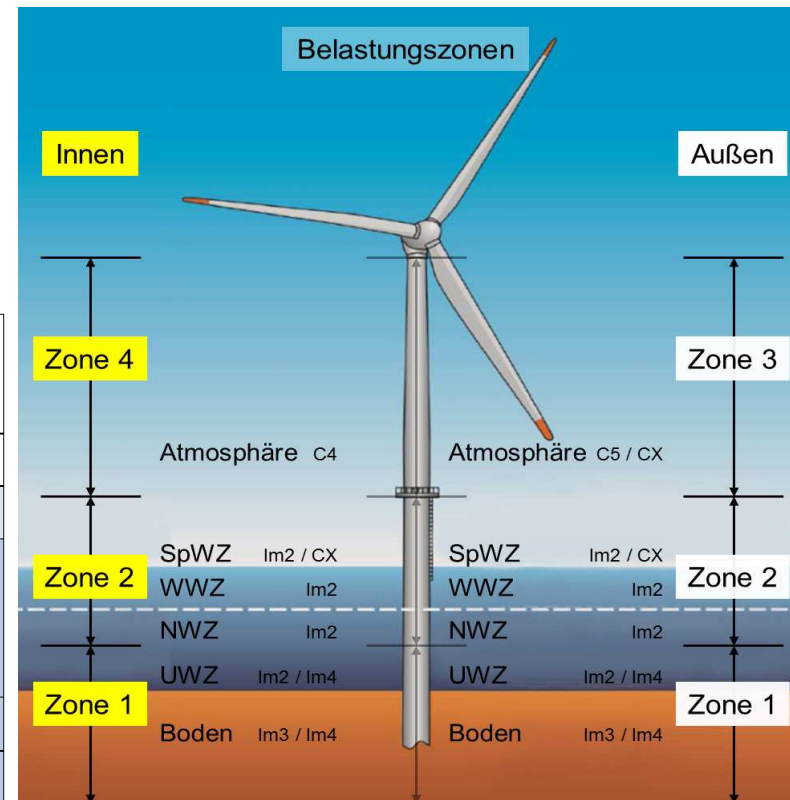
Belastungen

Dauerwasser, Wasserwechsel, Spritzwasser in Meeresatmosphäre, extreme Temperaturschwankungen, starke UV-Einwirkung, permanente, mechanische Schädigung und Abrieb sowie chemische Angriffe

4 Belastungszonen, je nach Lage zum Wasserspiegel

z.B. Monopile

Zone	Korrosive Belastungsbereiche	In Anlehnung an DIN EN ISO 9223 und DIN EN ISO 12944-2
4	Atmosphäre (Atmosphäre), innen	C4
3	Atmosphäre (Atmosphäre), außen	C5/CX
2	– Spritzwasser (SpWZ) – Wasserwechsel-Zone (WWZ) – Niedrigwasserwechsel-Zone (NWZ) jeweils außen und innen	Im2/CX
1	Unterwasserzone (UWZ), außen und innen	Im2/Im4
	Boden (Boden), außen und innen	Im3/Im4



- Der Korrosionsschutz ist für die gesamte Nutzungsdauer, üblicherweise auf mindestens 25 Jahre, zu bemessen und auszulegen, sodass eine Erneuerung (Reparatur) der Systeme während der Nutzungsdauer nicht erforderlich ist (Korrosionsschutzplan und –konzept)
- Vorbereitungsgrad P3 ist bei zu beschichtenden Bauteilen von Neubauten für Kanten, Schweißnähten und anderen Bereichen auf Stahloberflächen, die Unregelmäßigkeiten aufweisen herzustellen. Bei Kanten ist alternativ ein dreifaches Brechen zulässig
- Hinweise zum
 - Thermischen Spritzen und Feuerverzinken
 - Kathodischen Korrosionsschutz

- VGB PowerTech
- VGB/BAW Standard S-021
*Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen
und Windparkkomponenten*
- Teil 1: Korrosionsschutz
- **Teil 2: Anforderungen an Beschichtungssysteme**
- Teil 3: Applikation von Beschichtungssystemen
- Teil 4: Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)
- Ausblick

Im Bereich der Offshore-Bauwerke dürfen für den Korrosionsschutz nur Schutzsysteme verwendet werden, die die Anforderungen des Teils 2 erfüllen (geprüfte Systeme @ BAW)

Geeignete Systemaufbauten für die Belastungszonen 1-4 (Beispiele)

Zone	Grundbeschichtung			Zwischen-/Deckbeschichtung			Gesamtbeschichtung	
	Stoffart	Anzahl Schichten	NDFT [µm]	Stoffart	Anzahl Schichten	NDFT [µm]	Anzahl Schichten	NDFT [µm]
1 1-01E	2K-EP-Zn(R)	1	50	2K-EP	1	450	2	500
2 2-02E	2K-EP-Zn(R)	1	50	2K-EP + 2K-PUR	2 + 1	450 + 80	4	580
3 3-03E	2K-EP-div.	1	50-100	2K-EP + 2K-PUR	1 + 1	140-190 + 80	3	320
4 4-04E	TS	1	80-100	Sealer + 2K-EP	1 + 1	20 + 180	ohne TS 3	ohne TS 200

Prüfung der Korrosionsschutzsysteme (Prüfstelle)

- ein in diesem Bereich unabhängiges akkreditiertes Prüflabor nach DIN EN ISO/IEC 17025 (z. B. akkreditiert durch DAkkS, Deutsche Akkreditierungsstelle)
- die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
- ein Eigenlabor des Auftraggebers (Windparkbetreiber)

Prüfverfahren

- Untersuchungen am Beschichtungsstoff
- Prüfungen nach Belastung im Labor
- Prüfungen nach Belastung in der Natur

Probepplatten

- Probepplatten sind von einer anerkannten Prüfstelle herzustellen oder vom Hersteller des Korrosionsschutzsystems unter Überwachung eines unabhängigen zertifizierten Beschichtungsinspektors der Stufe C nach DIN CERTCO oder vergleichbar

Zulässige Schichtdicken

- $\leq 50 \mu\text{m}$: maximal 150 % der Sollschichtdicke
- $> 50 \mu\text{m}$: maximal 120 % der Sollschichtdicke
- Minimale Schichtdicke $\geq 80 \%$ der Sollschichtdicke
- Mittelwert $\geq 100 \%$ der Sollschichtdicke

Untersuchungen am Beschichtungsstoff

Gültigkeit der Beschichtungsstoffuntersuchung und Identitätsprüfung 5 J.

- **Beschichtungsstoffuntersuchung (Nassmuster)**

Parameter	Toleranzbereich
Viskosität (z. B. nach Brookfield)	siehe Herstellerangaben
Dichte	$\pm 0,05 \text{ g/cm}^3$
Pigment- und Füllstoffgehalt	$\pm 2,5 \%$
Bindemittelgehalt	$\pm 2,5 \%$
Lösemittelgehalt (flüchtige Anteile)	$\pm 2,5 \%$
Topfzeit	siehe Herstellerangaben

Identitätsprüfung am flüssigen Beschichtungsstoff (Fingerprint)

- Epoxid-Äquivalent
- Isocyanatzahl
- Aminzahl
- Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (jede Komponente)

Identitätsprüfung am ausgehärteten Beschichtungsstoff (Fingerprint)

- Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR)
- Headspace-Gaschromatografie (HS-GC)
- Thermogravimetrie (TG)

Angaben über die chemische Zusammensetzung der Komponenten

- Bindemittel (bei Reaktionsstoffen getrennt nach Komponenten)
- ggf. Kohlenwasserstoffharz bei Kombination mit dem Bindemittel
- Pigmente und Füllstoffe
- Lösemittelkomponenten und Lösemittelgehalte

Prüfungen nach Belastung im Labor und in der Natur

Nr.	Prüfung/Regelwerk Belastungsbereich	Zone 1 (Boden / UWZ)	Zone 2 (NWZ / WWZ / SpWZ)	Zone 3 (Atmosphäre Außen)	Zone 4 (Atmosphäre Innen)
1	Haftfestigkeit	X [10]	X [10]	---	---
2	Schlagfestigkeit (ohne PUR-Deckbeschichtungen)	X [10]		---	---
3	Immersion (NaCl)	4.200 h [5]	---	---	---
4	Kondensationstest	---	1.440 h [10]	1.440 h [10]	720 h [10]
5	Salzsprühnebeltest	---	2.160 h [5]	2.160 h [5]	1.440 h [5]
6	Zyklustest	---	4.200 h [10]	4.200 h [10]	---
7	KKS-Beständigkeit (ohne PUR-Deckbeschichtungen)	15 Monate [10]		---	---
8	Abrasion (ohne PUR-Deckbeschichtungen)	X [5]	X [5]	---	---
9	Farbbeständigkeit	---	2.000 h [10]	2.000 h [10]	---
10	Wasserdampfdiffusion (nur für EP-Zwischenbeschichtungen)	21 Tage [5]		---	---
11	Prüfungen nach Belastung in der Natur - (LZA)	5 Jahre [20]		---	---

Erforderliche Prüfverfahren sind markiert (X) oder mit der jeweiligen Prüfdauer sowie den Gültigkeitszeiträumen in Jahren [...] versehen.

Übergangsfrist bis 01.01.2018

- VGB PowerTech
- VGB/BAW Standard S-021
*Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen
und Windparkkomponenten*
- Teil 1: Korrosionsschutz
- Teil 2: Anforderungen an Beschichtungssysteme
- **Teil 3: Applikation von Beschichtungssystemen**
- Teil 4: Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)
- Ausblick

Oberflächenvorbereitung (Strahlen)

- Vor dem Strahlen sind Schweißrückstände und artfremde Verunreinigungen zu entfernen
- Vorbereitungsgrad für die Beschichtung B Sa 2½
- Klimatische Bedingungen
 - Umgebungstemperatur $\geq +10\text{ °C}$ und $\leq +30\text{ °C}$
 - Objekttemperatur $\geq +10\text{ °C}$ und $\leq +25\text{ °C}$
 - relative Luftfeuchtigkeit $\leq 65\%$ (Halle) / $\leq 40\%$ (Einhausung)
 - Taupunktabstand $\geq 5\text{ K}$

Prüfung der vorbereiteten Oberfläche

- Visuelle Kontrolle
- Vorbereitungsgrad P3
- Ermittlung der Rauheit
- Oberflächenreinheit (Staubmenge 2 / Partikelgröße Klasse 2)
- Freiheit von **wasserlöslichen Verunreinigungen** bzw. Ölen, Fetten etc.

$\leq 50\text{ mg/m}^2$ Anionen oder
 80 mg/m^2 Salz

Applikation der Beschichtung (nur geprüfte Beschichtungsstoffe)

- Start der Beschichtungsarbeiten erst nach Freigabe der Arbeitsmappe
- Die Applikation der ersten Beschichtungsschicht erfolgt unmittelbar nach dem Strahlen und erfolgter Reinigung der gestrahlten Oberfläche des Bauteils
- Das komplette Beschichtungssystem ist ohne Zwischenbewitterung zu applizieren
- Beschichtungsarbeiten haben in geschlossenen, sauberen und klimatisierten Räumen zu erfolgen
- In der Regel hat die Applikation von großen ebenen Flächen durch Airless-Spritzen zu erfolgen und alle Ecken usw. sind vorzustreichen
- Baubegleitende Probestplatten (Zone 1-3)

Zone 1 und 2

Platte (mm)	Zweck
300 x 300 x 10	Prüfung der Haftfestigkeit
300 x 300 x 10	Rückstellmuster AG
300 x 200 x 4	Rückstellmuster AG (evtl. Abriebfestigkeit)

Zone 3

Platte (mm)	Zweck
300 x 200 x 4	Rückstellmuster AG

Prüfung der applizierten Beschichtung

- Visuelle Kontrolle der Oberflächenbeschaffenheit
- Messung der Soll-Trockenschichtdicke (Mindestanzahl)
 - 4 Messpunkte/m²
 - bei kleinen Flächen (< 6 m²) jedoch mindestens 25 Messpunkte

Zusätzliche Prüfungen für Zone 1 und 2

- Prüfung auf Poren und Risse mit Hochspannung (Dichtheitsprüfung)
- Prüfung der Haftfestigkeit (baubegleitende Probeplatten)
 - Anzahl der Stempel je Probeplatte: 5

Mindestanforderung:

- ≥ 8 MPa (N/mm²) in Zone 1 / ≥ 5 MPa (N/mm²) in Zone 2
- A/B-Brüche nicht erlaubt, Mischbruch 10 % A/B-Anteil zulässig
zusätzlich Kreuzschnitt mit \leq Kt 1

Kontrollflächen

- Unter Betriebsbedingungen zugänglich

Ausbesserung im Werk und von Transport- und Montageschäden

- Wie VGB/BAW Standard und einheitliches Farbbild

Transport und Montage von beschichteten Bauteilen

- Beschädigungen vermeiden

Verbindungsmitel

- Korrosionsschutzkonzept ist zu erläutern und darzustellen

Eigenüberwachung des Auftragnehmers

- Zertifizierter Beschichtungsinspektor Stufe C (DIN CERTCO) oder vergleichbar
 - Oberflächenvorbereitung (Entrostung, Reinigung)
 - Messung der Klimadaten
 - Messung der Schichtdicken (Nass- und Trockenschichtdicken)
 - Prüfung auf Poren und Risse mit Hochspannung (Dichtheitsprüfung)
- Dokumentation

- VGB PowerTech
- VGB/BAW Standard S-021
*Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen
und Windparkkomponenten*
- Teil 1: Korrosionsschutz
- Teil 2: Anforderungen an Beschichtungssysteme
- Teil 3: Applikation von Beschichtungssystemen
- **Teil 4: Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)**
- Ausblick

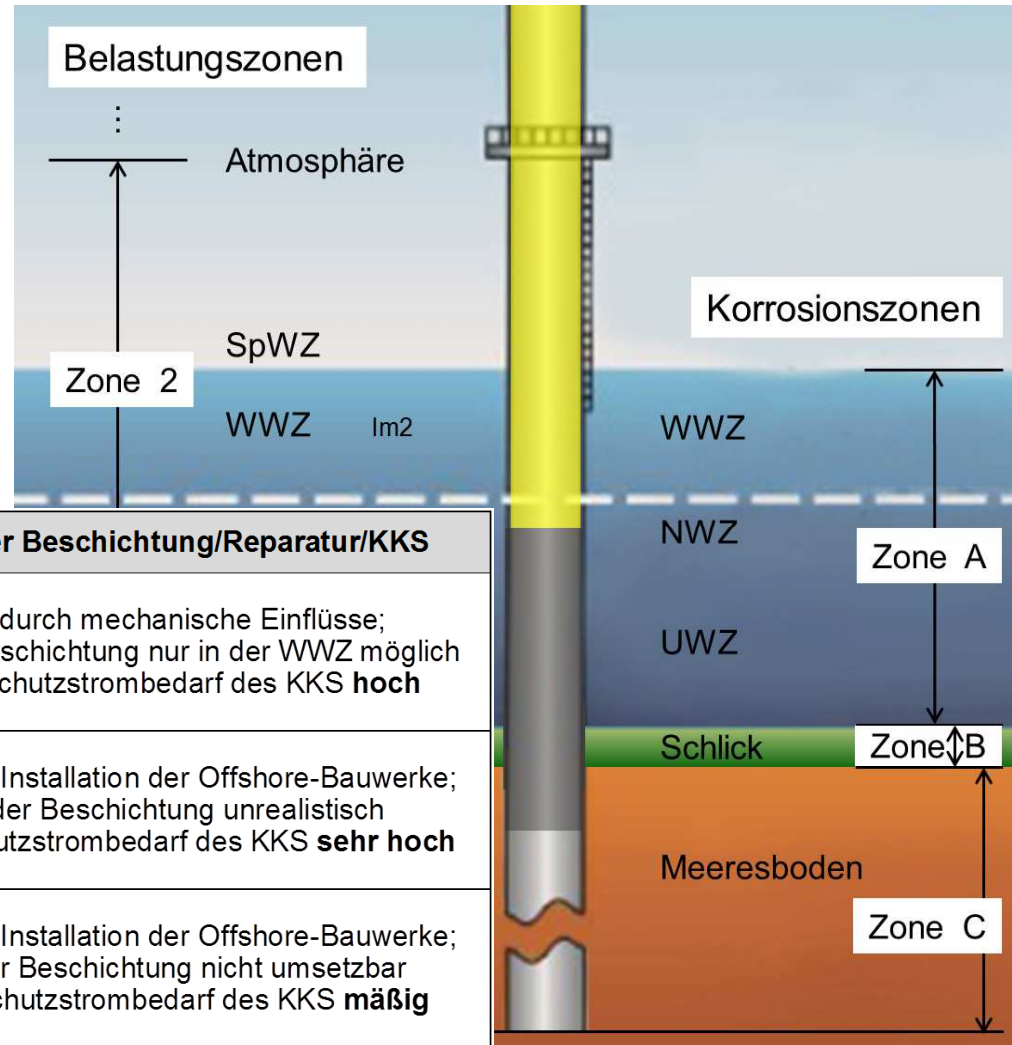
Im wasserbelasteten Bereich der Offshore-Bauwerke ist der KKS ein wesentlicher Faktor für die Standsicherheit

- Galvanische Schutzanlagen und Fremdstromanlagen bei metallisch leitenden verbunden Anlagenteilen grundsätzlich nicht zulässig
- Potenzialbereich von -800 mV bis -1.100 mV gegen Ag/AgCl-Elektrode für ausreichenden Korrosionsschutz
 - -1.100 mV zur Vermeidung von Blasenbildung oder Unterwanderung der Beschichtung und keine Wasserstoffbildung
 - Negativer als -900 mV bei MIC (Innen- und Außenseite in Meeresbodennähe)
- Im Inneren der Gründungselemente
 - Bildung und Ansammlung von H_2 und Cl_2 möglich, Überwachung sowie notwendige Be- und Entlüftung
 - Aluminiumanoden im Innenbereich kritisch (u. a. pH-Wert Absenkung) ➔ Zinkanoden als Alternative

Kathodische Korrosionsschutzzonen

Geltungsbereich:

- Wasserbelastete Komponenten



Zone	Bereich	Fehlstellen der Beschichtung/Reparatur/KKS
A	WWZ, NWZ und UWZ	Fehlstellen durch mechanische Einflüsse; Reparatur der Beschichtung nur in der WWZ möglich spezifischer Schutzstrombedarf des KKS hoch
B	locker gelagerter Meeresboden/Schlick	Fehlstellen nach Installation der Offshore-Bauwerke; Reparatur der Beschichtung unrealistisch spezifischer Schutzstrombedarf des KKS sehr hoch
C	dicht gelagerter Meeresboden	Fehlstellen nach Installation der Offshore-Bauwerke; Reparatur der Beschichtung nicht umsetzbar spezifischer Schutzstrombedarf des KKS mäßig

Planung eines aktiven Korrosionsschutzes

- Daten für die Planung
- KKS angepasste Gestaltung der Stahlbauteile, Minimierung von galvanischen Elementen (z. B. CrNi-Stahl)
- KKS-verträgliche Beschichtung
- Einbeziehung des Sekundärstahlbaus
- Beachtung von anodischen Spannungstrichtern
- Position von Anodenbefestigungspunkten und Verbindungselementen
- Geschweißte Verbindungsstellen vor geschraubten
- Verbindungsstellen des KKS-Systems vor Beschichtung installieren

Überpotenziale bei Beschichtungen

- Bei galvanischen Anoden unwahrscheinlich (Magnesiumanoden!)
- Isolierschild oder höhere Beschichtungsschichtdicke in Anodennähe
- Abstand der Anoden vom Schutzobjekt

Galvanische Schutzanlagen

- Vorzugsweise Zink- bzw. Aluminium-Anoden
- Abstand Anode / Oberfläche $> 0,3$ m für gute Anodenstromabgabe
- Schweißverbindungen sind Schraubverbindungen vorzuziehen
- Galvanischen Anodenketten sind nicht erlaubt (zunehmender Spannungsabfall dadurch Verringerung des Anodenstroms)
- Galvanische Anoden aus Aluminium nicht in Innenbereichen
- Mindestens 10 % der Standorte mit Fernüberwachungssystem ausstatten
 - Messwerte der Schutzpotenziale im Außenbereich an mindestens 2 pro Standort an verschiedenen Messstellen/Höhen
 - Messung in Zeitzyklen (z. B. 12 h)

Fremdstromanlagen

- Fremdstromanoden
 - Metalloxid beschichtetes Titan ($> 12 \text{ g/m}^2$, Ir- oder Ir/Ru-MOX), hohe spezifische Stromdichte
 - Magnetitanoden, bei hohen Treibspannungen einsetzbar, Säure- und Chlorgasbeständig
 - Platin beschichtetes Titan/Niob/Tantal ($> 5\mu\text{m}$), hohe spezifische Stromdichte
 - Ru-MOX im Meerwasser wegen Cl_2 nicht empfohlen
- Abstand von Anode zu Oberfläche $> 1,5 \text{ m}$ zur Vermeidung von Beschichtungsschäden (Isolierschirm aus Kunststoffzwischenlagen)
- Bezugs Elektroden zur Steuerung von Fremdstromanlagen und Erkennung von Änderungen des passiven oder aktiven Korrosionsschutzes
- Installation von Dauerbezugselektroden wo geringste und höchste Potenziale zu erwarten sind (Redundanz)
- Potenzialstabilität (Abweichung bis 25 mV möglich) mit den sehr genauen mobilen Cu/CuSO_4 oder gesättigten Ag/AgCl Halbzellen kontrollieren

Temporärer Schutz bei Fremdstromanlagen

- Vermeidung von Korrosion durch Fehlstellen und MIC etc.

Primäres Schutzsystem	Temporäres Schutzsystem	
	Außen	Innen
Vollständig beschichtet und Fremdstromanlage	Abrostungszuschlag und/oder Galvanische Anoden aus Aluminium (rückbaubar oder als Hybridsystem*)	kein temporärer Schutz
Teilbeschichtet und Fremdstromanlage		Abrostungszuschlag und/oder
Unbeschichtet und Fremdstromanlage		Galvanische Anoden aus Zink (pH-Wert)

- Hybridsystem - Wechselwirkung Galvanischer Anoden (Montage) mit Fremdstromanlage (Betrieb)

Betrieb und Überwachung

- Überwachung, vor allem Fremdstromanlagen
- Messung des Schutzpotenzials über Ausschaltpotenzial
 - Galvanische Anoden schwierig, Referenzelektrodenmessung direkt am Bauwerk mit einer Potenzialmesspistole
- Angabe der Bezugselektrode und des Vorzeichens des Potenzialwertes sind mit zu dokumentieren (Interpretation)
- KKS-Anlage ist von erfahrenem Betriebspersonal kontinuierlich zu betreuen (Anlehnung an DIN EN 15257 Grad 2, Offshore)
- Betriebspersonal benötigt Grundkenntnisse
 - Einschlägiges Regelwerk zum kathodischen Korrosionsschutz
 - Elektrochemische Korrosion
 - Aktiver Korrosionsschutz
 - Passiver Korrosionsschutz
 - Elektrische Messtechnik

- VGB PowerTech
- VGB/BAW Standard S-021
*Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen
und Windparkkomponenten*
- Teil 1: Korrosionsschutz
- Teil 2: Anforderungen an Beschichtungssysteme
- Teil 3: Applikation von Beschichtungssystemen
- Teil 4: Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)
- **Ausblick**

Teil 1-3: Allgemeines / Anforderungen / Applikation

- Veröffentlichung der Revision Nov. 2016

Teil 4: Kathodischer Korrosionsschutz

- Veröffentlichung der Revision Dez. 2016

Teil 5: Reparatur (Beschichtungen)

- Erstellung 2017

Teil 6: Monitoring

- Beginn 2018 nach Abschluss des Teils 5: Reparatur

Grundsätzliches

- Übersetzung aller Teile zeitnah ins Englische
- Einladung zur Kommentierung von neuen / überarbeiteten Teilen an betroffene Gruppen
- Überprüfung der Inhalte der Standards in regelmäßigen Abständen

Online-Verfügbarkeit
VGB/BAW Standard S-021
Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen
und Windparkkomponenten

- www.baw.de unter Regelwerke
- www.vgb.org unter TC Wind Energy
- www.vgb.org/shop