

vgbe/BAW-Standard

Korrosionsschutz von Offshore-Bauwerken zur Nutzung der Windenergie

Teil 2: Anforderungen an Korrosionsschutzsysteme

VGBE-S-021-02-2023-05-DE

4. Ausgabe 2023

(vormals VGB-S-021-02-2018-04-DE)



--- Free Document | Freies Dokument | Document libre ---

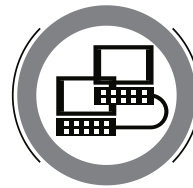
The GTC of vgbe energy service GmbH apply.
Es gelten die AGB der vgbe energy service GmbH.
Les CGV de vgbe energy service GmbH sont applicables.
All rights reserved! | Alle Rechte vorbehalten! | Tous droits réservés !

Any modification of this document is not permitted.
Jegliche Änderung dieses Dokuments ist nicht gestattet.
Toute modification de ce document est interdite.

Free accessible document.
Freie zugängliches Dokument.
Document libre.



Network storage allowed.
Einstellen in Netzwerke erlaubt.
Stockage en réseau autorisé.



Electronic copy allowed.
Elektronische Kopie erlaubt.
Copie électronique autorisée.



**Passing on of print-outs or electronic copies
to third parties is permitted.**
**Die Weitergabe von Ausdrucken und/oder
elektronischen Kopien an Dritte ist gestattet.**
**La transmission de documents imprimés ou de
copies électroniques à des tiers est autorisée.**



No further rights are granted.
Es werden keine weiteren Rechte eingeräumt.
Aucun autre droit n'est accordé.



Notice: Any further use of contents requires a written agreement with vgbe energy.
Please contact us at sales-media@vgbe.energy.

Hinweis: Jegliche weitere Nutzung von Inhalten bedarf einer schriftlichen
Vereinbarung mit vgbe energy.
Kontakt und Rückfragen an sales-media@vgbe.energy.

Avis : Toute utilisation ultérieure du contenu nécessite un accord écrit avec vgbe energy.
Veuillez nous contacter à l'adresse sales-media@vgbe.energy

vgbe/BAW-Standard

Korrosionsschutz von Offshore-Bauwerken zur Nutzung der Windenergie

Teil 2: Anforderungen an Korrosionsschutzsysteme

4. Ausgabe 2023

VGBE-S-021-02-2023-05-DE

(vormals VGB-S-021-02-2018-04-DE)

Herausgeber:
vgbe energy e.V.

Verlag:
vgbe energy service GmbH
Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften
Deilbachtal 173 | 45257 Essen

Tel.: +49 201 8128-200
E-Mail: sales-media@vgbe.energy

ISBN 978-3-96284-315-1 (ebook, Deutsch)

Alle Rechte vorbehalten, vgbe energy.

www.vgbe.energy | www.vgbe.services

Teil 2 – Korrosionsschutzsysteme

Inhalt

1	Allgemeines	3
2	Korrosionsschutzsysteme	3
2.1	Prüfstellen.....	3
2.2	Herstellung der Probeplatten	4
2.3	Schichtdicken des Beschichtungssystems auf den Probenplatten	4
2.4	Künstliche Verletzung der Probeplatten.....	6
3	Untersuchungen am Beschichtungsstoff.....	7
4	Tauglichkeitsnachweis.....	9
4.1	Abmessungen der Probeplatten	10
4.2	Auswertung nach Beendigung der Belastung.....	10
5	Prüfungen vor und nach Belastung	11
5.1	Haftfestigkeitsprüfung: Bestimmung der Abreißfestigkeit	11
5.2	Schlagfestigkeitsprüfung: Bestimmung der Widerstandsfähigkeit bei schlagartiger Verformung durch ein fallendes Gewichtsstück	12
5.3	Immersionsprüfung: Bestimmung der Beständigkeit gegen Flüssigkeiten – Verfahren mit Eintauchen in Wasser.....	13
5.4	Kondensationsprüfung: Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit – Kondensation (einseitige Beanspruchung)	14
5.5	Salzsprühnebelprüfung: Bestimmung der Beständigkeit gegen neutralen Salzsprühnebel	15
5.6	Zyklische Alterungsprüfung	16
5.7	KKS-Beständigkeitsprüfung: Bestimmung des Widerstandes gegen kathodische Enthftung	17
5.8	Wasserdampfdiffusionsprüfung – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit am freien Beschichtungsfilm	19
6	Regelwerke	20
7	Anlage: Dokumentation zur Herstellung der Probeplatten	23

1 Allgemeines

Der Teil 2 des Standards „Korrosionsschutz von Offshore-Bauwerken zur Nutzung der Windenergie“ beschreibt die Anforderungen an Korrosionsschutzsysteme für den Erstschutz durch Beschichtungs- und Duplexsysteme.

2 Korrosionsschutzsysteme

Für Offshore-Bauwerke dürfen nur Beschichtungs- und Duplexsysteme als Korrosionsschutz verwendet werden, die die Anforderungen gemäß Tabelle 1, 2 und 4 erfüllen. Als Nachweis (Tauglichkeitsnachweis) sind Prüfberichte einer anerkannten Prüfstelle (s.u.) erforderlich.

Die Prüfinhalte sind im Kapitel 3 und 5 festgelegt und unterteilen sich in:

- Untersuchungen am Beschichtungsstoff (Kapitel 3) und
- Prüfungen vor und nach Belastung (Kapitel 5).

Falls der Einsatz einer thermischen Spritzbeschichtung vorgesehen ist, gelten die Hinweise aus Teil 1, Kapitel 7.

Hinweis:

Es ist für den atmosphärischen Außenbereich der Zone 2 und 3 zu berücksichtigen, dass das zu prüfende Korrosionsschutzsystem für den Einsatzzweck ausreichend gegen UV-Strahlung beständig ist. Epoxidharzbeschichtungen als Deckbeschichtung sind in jedem Fall zu vermeiden, da zudem keine ausreichende Oberflächenhaftung ohne mechanische Vorbereitung für zum Beispiel spätere Reparaturen gegeben ist (Zwischenhaftungsproblematik).

2.1 Prüfstellen

Die Prüfung der Korrosionsschutzsysteme erfolgt durch eine Prüfstelle, die nach einer erfolgreichen Prüfung dem Hersteller einen Prüfbericht ausstellt. Die Prüfstelle muss spätestens mit dem Prüfbericht nachweisen, dass sie

- ein in diesem Bereich unabhängiges nach ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflabor

oder

- ein Korrosionsschutzlabor eines ordentlichen vgbe-Mitgliedsunternehmens ist.

2.2 Herstellung der Probeplatten

Alle für die Prüfungen erforderlichen Probeplatten, aus unlegiertem Baustahl gemäß EN 10020, sind von einer der unter Kapitel 2.1 genannten Prüfstellen herzustellen. Alternativ kann der Hersteller des Korrosionsschutzsystems die Probeplatten im Beisein der Prüfstelle oder unter Überwachung eines unabhängigen, zertifizierten Beschichtungsinspektors nach

- DIN CERTCO Stufe C,
- FROSIO Level III,
- NACE Level 3,
- NACE Level 2 in Kombination mit mindestens 5 Jahren Berufserfahrung

oder eines vergleichbaren Nachweises herstellen.

Die Probeplattenvorbereitung erfolgt durch Strahlen mit dem Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2½ mit einem Rostgrad von maximal B (ISO 8501-1). Für die gestrahlte Oberfläche wird ein mittlerer Rauheitsgrad von „mittel (G)“ nach ISO 8503-1 gefordert. Hierfür ist nur kantiges Strahlmittel (Grit) zu verwenden.

Alle Probeplatten sind einheitlich herzustellen, d. h. zeitgleich mit einem identischen Systemaufbau und Applikationsverfahren. Für die Laborprüfung sind die Platten, die in einer Klimakammer belastet werden, auch auf der Rückseite mit dem zu prüfenden System zu beschichten. Alternativ ist für die Rückseite ein Korrosionsschutzsystem mit einer höheren Beständigkeit gegen Korrosion zu verwenden.

Die Applikationsbedingungen, der Schichtaufbau und die verwendeten Chargen sind zu dokumentieren, siehe Anlage.

Die Konditionierung der Probeplatten erfolgt für mindestens sieben Tage bei Normal Klima ($23 \pm 2^\circ\text{C}$ / 50 ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit), bei freier Luftzirkulation und unter Ausschluss von direkter Sonnenbestrahlung. Anschließend ist mit den Belastungen bzw. Prüfungen baldmöglichst zu beginnen.

Sollten im technischen Merkblatt des zu prüfenden Korrosionsschutzsystems andere Anforderungen wie z.B. Rauheitsgrad, Applikationsbedingungen oder Konditionierung gestellt sein, sind diese zu beachten und zu dokumentieren.

2.3 Schichtdicken des Beschichtungssystems auf den Probeplatten

Bei der Herstellung der Probeplatten sind die Mindestanforderungen an die Anzahl der Schichten und der Sollsichtdicke für die einzelnen Zonen gemäß Tabelle 1 einzuhalten. Tabelle 2 enthält darüber hinaus Anforderungen an Stahlsubstrate mit einem metallischen Überzug.

Tabelle 1: Mindestanforderung an die Anzahl der Schichten (MNOC) und an die Sollschiechtdicken einer Beschichtung in Abhängigkeit der Zone auf gestrahltem Stahlsubstrat von Probeplatten.

Zone	Abkürzung	MNOC	NDFT [μm]
1	– Boden, außen und innen – Unterwasserzone (UWZ), außen und innen	1	≥ 800
		2	≥ 600
2	– Spritzwasser (SpWZ), außen – Wasserwechsel-Zone (WWZ), außen und innen	2	≥ 600
3	Atmosphäre, außen	3	≥ 360
4a	Atmosphäre, innen (nicht-klimatisiert)	2	≥ 300
4b	Atmosphäre, innen (klimatisiert)	2	≥ 240

Tabelle 2: Mindestanforderung an die Anzahl der Schichten (MNOC) und an die Sollschiechtdicken (NDFT) einer Beschichtung, auf Stahlsubstrat mit metallischem Überzug von Probeplatten.

Zone	Abkürzung	MNOC [ohne Sealer]	NDFT [μm]
3	Atmosphäre, außen	2	≥ 240
4a	Atmosphäre, innen (nicht-klimatisiert)	2	≥ 200
4b	Atmosphäre, innen (klimatisiert)	2	≥ 160

Die angegebenen Schichtdicken sind als Sollschiechtdicke (NDFT) definiert.

Die Messung der Einzel- und Gesamtschichtdicken erfolgt nach ISO 19840. Bei elektronischer Messung erfolgt die Justierung (Kalibrierung) ausschließlich auf einer glatten Oberfläche.

Für die minimale gemessene Schichtdicke gilt:

- Schichtdicke mindestens 80% der Sollschichtdicke

Für die maximale gemessene Schichtdicke gilt (gemäß ISO 12944-6):

- Sollschichtdicke $\leq 60 \mu\text{m}$: maximal 150 % der Sollschichtdicke
- Sollschichtdicke $> 60 \mu\text{m}$: maximal 125 % der Sollschichtdicke.

Diese Vorgaben gelten für die Einzel- bzw. Gesamtschichtdicken.

2.4 Künstliche Verletzung der Probeplatten

Die Probeplatten sind für die Prüfungen 5.3, 5.5 und 5.6 mit einem maschinell gefrästen Ritz zu verletzen (Abbildung 1). Die Verletzung hat bis zum unlegierten Baustahl zu erfolgen, so dass die Beschichtung im Ritz vollständig entfernt ist.

Anforderung an den Ritz:

- Breite 2 mm,
- Länge 50 mm und
- mind. 25 mm von Kanten entfernt.

Der Ritz ist im Prüfgerät vertikal auszurichten.

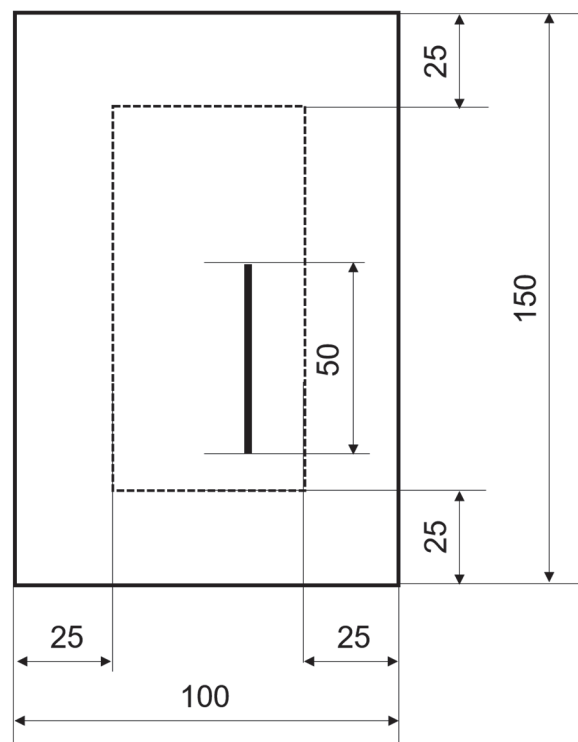


Abb. 1: Beispiel für eine Probeplatte mit vertikalem Ritz (2 mm Breite). Der vertikale Ritz kann frei im gestrichelten Bereich positioniert werden. Maße in Millimeter.

3 Untersuchungen am Beschichtungsstoff

Die Untersuchungen an den Nassmustern der einzelnen Beschichtungsstoffe sind im Rahmen der Prüfungen von den unter Kapitel 2.1 genannten Prüfstellen zu ermitteln und die vom Beschichtungsstoffhersteller eingereichten Parameter (Sollwerte inkl. Toleranzbereiche) auf Konformität zu kontrollieren.

Der Gültigkeitszeitraum der Beschichtungsstoffuntersuchung beträgt 10 Jahre.

Es sind die in der Tabelle 3 genannten Parameter zu prüfen und die Toleranzbereiche einzuhalten.

Tabelle 3: Parameter und Toleranzbereich.

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)	$\pm 2,5 \%$
Verarbeitbarkeitsdauer (Topfzeit)	siehe Herstellerangaben

Die Viskosität und die Dichte werden nach Herstellervorgaben aus den Einzelkomponenten bzw. aus der Mischung bestimmt.

- Die Viskosität kann z.B. mit dem Auslaufbecher-Verfahren nach ISO 2431 oder mit dem Rotationsviskosimeter-Verfahren nach ISO 2884 bestimmt werden.
- Die Dichte kann z.B. mit dem Pyknometer-Verfahren nach ISO 2811-1 bestimmt werden.

Bei der Prüfung der mengenmäßigen Zusammensetzung der Einzelkomponenten des Beschichtungsstoffes wird folgendermaßen verfahren:

- Der Pigment- bzw. Füllstoffanteil wird durch Auswiegen, nach dessen Abtrennung vom Harz, mittels zentrifugieren und Trocknung an der Luft bestimmt.
- Für den Anteil flüchtiger Komponenten (Lösemittelgehalt) wird das Beschichtungssystem nach der Einwaage (nach der Mischung), 24 h bei Raumtemperatur und 50 % Luftfeuchtigkeit ausgehärtet und anschließend der Trocknungsverlust, nach ISO 3251 ermittelt (Einwaage ca. 2 g, 105 °C, 2 h).
- Der Bindemittelgehalt wird indirekt durch Subtraktion ermittelt.

Bei 2K-Beschichtungssystemen wird die Verarbeitbarkeitsdauer (Topfzeit) der Mischung bei Raumklima ($23 \pm 2 \text{ °C}$ und $50 \pm 5 \%$ rel. Luftfeuchtigkeit) überprüft. Der Lösemittelgehalt ist ebenfalls aus der Mischung zu bestimmen.

Zusätzliche Untersuchungen wie

- Fingerprint durch Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR) am flüssigen und ausgehärteten Beschichtungsstoff
- Bestimmung des Glührückstandes / Aschegehalt am flüssigen und ausgehärteten Beschichtungsstoff
- Bestimmung des Gehaltes an funktionellen Gruppen am flüssigen Beschichtungsstoff

können unter den Vertragspartner vereinbart werden.

Des Weiteren sind den Prüfberichten folgende Dokumente beizufügen:

- Sicherheitsdatenblätter,
- Technische Datenblätter,
- zusätzliche Verarbeitungsvorschriften (wenn vorhanden).

4 Tauglichkeitsnachweis

Für die Tauglichkeit eines Beschichtungssystems, als dauerhaften Korrosionsschutz im Offshore-Bereich, sind die entsprechenden Prüfungen nach Tabelle 4 durchzuführen und mit einem entsprechenden Prüfbericht nachzuweisen.

Die Gültigkeit eines Prüfberichts beträgt **10 Jahre** ab Ausstellungsdatum. Bereits existierende Prüfberichte sind gültig, sofern die aktuellen Anforderungen (4. Ausgabe) erfüllt werden.

Tabelle 4: Erforderliche Prüfungen der jeweiligen Belastungszonen (entsprechend Teil 1, Kapitel 4).

Kapitel	Prüfung	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4a	Zone 4b
		Boden / UWZ (Außen / Innen)	WWZ / SpWZ (Außen / Innen)	Atmosphäre (Außen)	Atmosphäre (Innen, nicht klimatisiert)	Atmosphäre (Innen, klimatisiert)
5.1	Haftfestigkeit	✓	✓	✓	✓	✓
5.2	Schlagfestigkeit ¹	---	✓	---	---	---
5.3	Immersion (NaCl) ²	4.200 h	---	---	---	---
5.4	Kondensationsprüfung	---	1.440 h	1.440 h	720 h	480 h
5.5	Salzsprühnebelprüfung	---	2.160 h	2.160 h	1.440 h	720 h
5.6	Zyklische Alterungsprüfung	---	4.200 h		---	---
5.7	KKS-Beständigkeit	15 Monate		---	---	---
5.8	Wasserdampfdiffusion ³	21 Tage		---	---	---

¹ Die Schlagfestigkeitsprüfung für Zone 2 Innen ist optional.

² Alternativ zum Immersionstest der Zone 1 gilt ein bestandener Salzsprühnebeltest (2.160 h), siehe Kapitel 5.5.

³ Die Prüfung zur Wasserdampfdiffusion wird nur an Epoxidharzschichten durchgeführt. Die Prüfung erfolgt nicht an anderweitigen Beschichtungen (z.B. Epoxid-Zn(R)-Grundbeschichtung).

Anmerkung:

Weitere Prüfungen wie z.B. die Prüfung des Widerstandes gegen Abrasion oder Farbtonbeständigkeit können als zusätzliche Prüfung zwischen AG und AN vereinbart werden.

4.1 Abmessungen der Probeplatten

Die benötigten Probeplatten für die Prüfungen gemäß Kapitel 5 müssen folgende Abmessungen haben, um eine ausreichend große Prüffläche für zerstörende Prüfungen nach Belastungsende nutzen zu können:

- Länge: 150 mm
- Breite: 100 mm
- Dicke: 3 mm
- Dicke: 4 mm (nur für Schlagprüfung)

Die Abmessungen für Länge und Breite der Probeplatten sind Mindestmaße und können nach Bedarf größer gewählt werden. Die Abmessungen für die Dicke der Probeplatten ist wie vorgegeben einzuhalten. Beschichtungen zählen nicht zu den Abmessungen der Probeplatten.

Für die Haftfestigkeitsprüfung wird empfohlen bei einseitigem Verfahren die Rückseite der Probeplatten vor der Prüfung mit einer ausreichend dicken Stahlplatte zu verstärken. Die Verklebung erfolgt mit einem geeigneten Klebstoff (z.B. 2K-Epoxyd).

Für die Schlagprüfung (Kapitel 5.2) ist eine Mindestdicke der Probeplatte von 4 mm erforderlich. Es ist zulässig eine 3 mm dicke Probeplatte mit einer ≥ 1 mm dicken Stahlplatte zu unterlegen.

4.2 Auswertung nach Beendigung der Belastung

Die jeweiligen visuellen Bewertungen (ISO 4628) sind, wie in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben, sofort nach Beendigung der Belastung der Prüfverfahren vorzunehmen.

Bei Verwendung von Duplex-Systemen ist die metallische Schicht Teil des Korrosionsschutzsystems. Daher werden für die Prüfungen mit einer Bewertung der ‚Korrosion am Ritz‘ nur Korrosionsprodukte, die vom Kohlenstoffstahlsubstrat stammen, berücksichtigt.

Für die Haftfestigkeitsprüfungen sind pro Probeplatte jeweils 3 Prüfstempel einzusetzen. Die Anforderungswerte aus den folgenden Tabellen gelten für jede Einzelmessung, d.h. jeder Stempel der zu wertenden Probeplatten muss die Anforderung erfüllen. Der Durchmesser der Prüfstempel beträgt dabei 20 mm.

Innerhalb jeder Prüfung müssen von drei Probeplatten mindestens zwei Probeplatten alle Anforderungen erfüllen.

Hinweis: Ermittelte Messwerte dürfen kaufmännisch gerundet werden. Zum Beispiel wird bei der zyklischen Alterungsprüfung ein ermittelter Messwert von 6,49 mm bei der Korrosion am Ritz zu 6 mm abgerundet, wodurch das Bewertungskriterium erfüllt wird. Bei der Haftfestigkeitsprüfung als Nullprüfung für die Zone 1 wird ein ermittelter Messwert von 7,50 MPa zu 8 MPa aufgerundet, wodurch das Bewertungskriterium ebenfalls erfüllt wird.

5 Prüfungen vor und nach Belastung

5.1 Haftfestigkeitsprüfung: Bestimmung der Abreißfestigkeit

Die Prüfung der Haftfestigkeit wird ohne vorherige Belastungsphase (Nullprüfung) durch das Abreißverfahren in Anlehnung an ISO 4624 durchgeführt und bewertet nach Tabelle 5.

Bestimmt werden die Haftfestigkeit (in MPa), der Trennfall (Adhäsions-, Kohäsionsbruch), dessen Lage (z. B. zwischen Grund- und erster Zwischenbeschichtung), sowie die prozentualen Anteile der jeweiligen Schichtlage bzw. Grenzflächen.

Die Haftfestigkeitsprüfung erfolgt nach einem der beiden Verfahren:

- Sandwich-Verfahren oder
- einseitiger Haftabzug.

Tabelle 5: Anforderungen und Bewertungsverfahren für die Bestimmung der Abreißfestigkeit.

Zone 1 (Boden/UWZ) / 2 (WWZ/SpWZ) / 3 (Atmosphäre Außen) / 4a/4b (Atmosphäre Innen)	
Anforderung	Wert
Prüftemperaturen	23 ±2 °C und 5 ±2 °C
Anzahl Probeplatten	6 (je 3 pro Prüftemperatur)
Anzahl der Prüfstempel je Probeplatte	3
Durchmesser Prüfstempel	20,0 mm
Bewertungsverfahren	Bewertungskriterium
Haftfestigkeit – Abreißversuch (ISO 4624)	Zone 1: ≥ 8 MPa Zone 2, 3, 4a/4b: ≥ 5 MPa (unabhängig vom Bruchbild)

5.2 Schlagfestigkeitsprüfung: Bestimmung der Widerstandsfähigkeit bei schlagartiger Verformung durch ein fallendes Gewichtsstück

Die Prüfung der Schlagfestigkeit wird in Anlehnung an ISO 6272-1 durchgeführt und nach ISO 29601 bewertet. Die Schlagfestigkeitsprüfung für Zone 2 Innen ist optional.

Um bereits bestehende Poren durch Applikationsfehler im Beschichtungsfilm festzustellen, müssen die Probeplatten vor der Schlagbelastung mittels Hochspannungsverfahren nach ISO 29601 auf Dichtheit untersucht werden. Für die Berechnung der Prüfspannung ausgehend von der nominellen Gesamtschichtdicke werden elektrisch leitende Schichten (z.B. Metallisierungen, Zinkstaub-Grundbeschichtungen) nicht berücksichtigt.

Nach der Schlagbelastung wird visuell ohne Vergrößerungsoptiken auf Rissbildung und Ablösungen geachtet und dokumentiert sowie die Dichtheit der Beschichtung mittels Hochspannungsverfahren nach ISO 29601 jedoch mit verringerter Prüfspannung kontrolliert (Tabelle 6).

Die angegebenen Prüftemperaturen gelten für die Oberflächentemperatur der Probeplatten. Eine Versuchsdurchführung innerhalb einer Klimakammer ist nicht nötig.

Tabelle 6: Anforderungen und Bewertungsverfahren für die Bestimmung der Schlagfestigkeit.

Zone 2 (WWZ/SpWZ)	
Anforderung	Wert
Abstand der Aufschlagpunkte	Alle Aufschlagpunkte müssen mindestens 20 mm vom Plattenrand und mindestens 40 mm voneinander entfernt sein
Prüftemperaturen (Temperatur der Platten)	23 ±2 °C und 5 ±2 °C
Fallhöhe, Fallmasse	50 cm, 1 kg, Probeplatte nicht federnd gelagert
Anzahl Probeplatten	6 (je 3 pro Prüftemperatur)
Anzahl Messungen	3 je Probeplatte
Prüfspannung pro 100 µm nominelle Schichtdicke - vor der Schlagbelastung - nach der Schlagbelastung	0,5 kV 0,3 kV
Bewertungsverfahren	Bewertungskriterium
Hochspannungsprüfung	Keine Durchschläge. (keine akustische oder optische Detektion)

5.3 Immersionsprüfung: Bestimmung der Beständigkeit gegen Flüssigkeiten – Verfahren mit Eintauchen in Wasser

Die Prüfung der Beständigkeit gegen Flüssigkeiten wird in Anlehnung an ISO 2812-2 durchgeführt (Tabelle 7). Alternativ zum Immersionstest der Zone 1 gilt der bestandene Salzsprühnebeltest aus Zone 2.

Die Probeplatten sind vollständig ins Immersionsmedium einzutauchen und im Abstand von 30 mm zueinander in die Apparatur einzubringen. Nach Beendigung der Belastung wird die lose und unterwanderte Beschichtung mit einem geeigneten Werkzeug entfernt und die Korrosion am Ritz ausgemessen. Die Prüfung der Haftfestigkeit mit Kreuzschnitt wird nach 1 h (Nasshaftung) und nach 7 Tagen (Trockenhaftung) durchgeführt. Die Prüfung der Haftfestigkeit mit Abreißversuch erfolgt ebenfalls nach 7 Tagen.

Alternativ zum Immersionstest für die Zone 1 kann der Salzsprühnebeltest durchgeführt werden (gemäß Prüfanforderung Zone 2).

Tabelle 7: Anforderungen und Bewertungsverfahren für die Bestimmung der Beständigkeit gegen Flüssigkeiten (Immersion)

Zone 1 (Boden/UWZ)	
Anforderung	Wert
Prüfdauer	4.200 h
Prüftemperatur	40 ± 2 °C
Immersionsmedium	5%ige NaCl-Lösung
Anzahl Probeplatten	3
Verletzung	Siehe Kapitel 2.4
Bewertungsverfahren	Bewertungskriterium
Blasengrad (ISO 4628-2)	0 (S0)
Rostgrad (ISO 4628-3)	Ri 0
Rissgrad (ISO 4628-4)	0
Abblätterungsgrad (ISO 4628-5)	0
Korrosion am Ritz (ISO 4628-8)	≤ 2 mm (aus 9 Messstellen nach ISO 12944-6)
Haftfestigkeit – Kreuzschnitt (ISO 16276-2)	≤ Kennwert 2
Haftfestigkeit – Abreißversuch (ISO 4624)	≥ 5 MPa (Einzelmessung, siehe Kapitel 4.2) jeweils unabhängig vom Bruchbild

5.4 Kondensationsprüfung: Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit – Kondensation (einseitige Beanspruchung)

Die Prüfung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit wird in Anlehnung an ISO 6270-1 durchgeführt.

Die Prüfung der Haftfestigkeit mit Kreuzschnitt wird nach 1 h (Nasshaftung) und nach 7 Tagen (Trockenhaftung) nach Beendigung der Belastung durchgeführt. Die Prüfung der Haftfestigkeit mit Abreißversuch erfolgt ebenfalls nach 7 Tagen.

Die Prüfkriterien (nach Beendigung der Belastung) sind in Tabelle 8 aufgelistet.

Tabelle 8: Anforderungen und Bewertungsverfahren für die Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit (Kondensation).

Zonen 2 (WWZ/SpWZ) / 3 (Atmosphäre Außen) / 4a/4b (Atmosphäre Innen)	
Anforderung	Wert
Prüfdauer	Zone 2 u. 3: 1.440 h Zone 4a: 720 h Zone 4b: 480 h
Prüftemperatur	38 ± 2 °C
Anzahl Probenplatten	3
Bewertungsverfahren	Bewertungskriterium
Blasengrad (ISO 4628-2)	0 (S0)
Rostgrad (ISO 4628-3)	Ri 0
Rissgrad (ISO 4628-4)	0
Abblätterungsgrad (ISO 4628-5)	0
Haftfestigkeit – Kreuzschnitt (ISO 16276-2)	≤ Kennwert 2
Haftfestigkeit – Abreißversuch (ISO 4624)	≥ 5 MPa (Einzelmessung, siehe Kapitel 4.2) jeweils unabhängig vom Bruchbild

5.5 Salzsprühnebelprüfung: Bestimmung der Beständigkeit gegen neutralen Salzsprühnebel

Die Prüfung der Beständigkeit gegen neutralen Salzsprühnebel wird in Anlehnung an ISO 9227 durchgeführt.

Die Beschichtung wird mit einem geeigneten Werkzeug entfernt und auf der freigelegten Fläche wird die Korrosion am Ritz ausgemessen.

Die Prüfung der Haftfestigkeit mit Kreuzschnitt wird nach 1 h (Nasshaftung) und nach 7 Tagen (Trockenhaftung) nach Beendigung der Belastung durchgeführt. Die Prüfung der Haftfestigkeit mit Abreißversuch erfolgt ebenfalls nach 7 Tagen.

Die Prüfkriterien (nach Beendigung der Belastung) sind in Tabelle 9 aufgelistet.

Tabelle 9: Anforderungen und Bewertungsverfahren für die Bestimmung der Beständigkeit gegen neutralen Salzsprühnebel.

Zonen 2 (NWZ/WWZ/SpWZ) / 3 (Atmosphäre Außen) / 4a/4b (Atmosphäre Innen)	
Anforderung	Wert
Prüfdauer	Zone 2 u. 3: 2.160 h Zone 4a: 1.440 h Zone 4b: 720 h
Prüftemperatur	35 ± 2 °C
Prüflösung	5%ige NaCl-Lösung
Anzahl Probenplatten	3
Verletzung	Siehe Kapitel 2.4
Bewertungsverfahren	Bewertungskriterium
Blasengrad (ISO 4628-2)	0 (S0)
Rostgrad (ISO 4628-3)	Ri 0
Rissgrad (ISO 4628-4)	0
Abblätterungsgrad (ISO 4628-5)	0
Korrosion am Ritz (ISO 4628-8)	≤ 3 mm (aus 9 Messstellen nach ISO 12944-6)
Haftfestigkeit – Kreuzschnitt (ISO 16276-2)	≤ Kennwert 2
Haftfestigkeit – Abreißversuch (ISO 4624)	≥ 5 MPa (Einzelmessung, siehe Kapitel 4.2) jeweils unabhängig vom Bruchbild

5.6 Zyklische Alterungsprüfung

Die zyklische Alterungsprüfung wird in Anlehnung an ISO 12944-9 durchgeführt.

Die Beschichtung wird mit einem geeigneten Werkzeug entfernt und auf der freigelegten Fläche wird die Korrosion am Ritz ausgemessen.

Die Beanspruchung der Probeplatten beträgt 25 Zyklen (4.200 h) entsprechend dem folgenden wöchentlichen Rhythmus:

- 72 h im vierstündigen Wechsel trockene UVA-Belastung ($\lambda = 340 \text{ nm}$; $60 \pm 3 \text{ °C}$) und Kondensation ($50 \pm 3 \text{ °C}$) gemäß ISO 16474-3 Verfahren A Zyklus 1
- 72 h Salzsprühnebelbelastung ($35 \pm 2 \text{ °C}$) gemäß ISO 9227
- Abspülen mit demineralisiertem Wasser
- 24 h trockene Lagerung ($-20 \pm 2 \text{ °C}$).

Die Probeplatten sind nach Beendigung der Belastung einer 24-stündigen Konditionierung bei Raumtemperatur zu unterziehen. Die Prüfkriterien (nach Beendigung der Belastung) sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Die Prüfung der Haftfestigkeit mit Kreuzschnitt wird nach 1 h (Nasshaftung) und nach 7 Tagen (Trockenhaftung) nach Beendigung der Belastung durchgeführt. Die Prüfung der Haftfestigkeit mit Abreißversuch erfolgt ebenfalls nach 7 Tagen.

Tabelle 10: Anforderungen und Bewertungsverfahren für die zyklische Alterungsprüfung.

Zonen 2 (NWZ/WWZ/SpWZ) / 3 (Atmosphäre Außen)	
Anforderung	Wert
Prüfdauer	4.200 h
Anzahl Probeplatten	3
Verletzung	Siehe Kapitel 2.4
Bewertungsverfahren	Bewertungskriterium
Blasengrad (ISO 4628-2)	0 (S0)
Rostgrad (ISO 4628-3)	Ri 0
Rissgrad (ISO 4628-4)	0
Abblätterungsgrad (ISO 4628-5)	0
Korrosion am Ritz (ISO 4628-8)	$\leq 6 \text{ mm}$ (aus 9 Messstellen nach ISO 12944-6)
Haftfestigkeit – Kreuzschnitt (ISO 16276-2)	\leq Kennwert 2
Haftfestigkeit – Abreißversuch (ISO 4624)	$\geq 5 \text{ MPa}$ (Einzelmessung, siehe Kapitel 4.2) jeweils unabhängig vom Bruchbild

5.7 KKS-Beständigkeitsprüfung: Bestimmung des Widerstandes gegen kathodische Enthaftung

Die KKS-Beständigkeitsprüfung wird in Anlehnung an das Verfahren nach „Richtlinien für die Prüfung von Beschichtungssystemen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau“ (RPB) der BAW durchgeführt.

Die KKS-Beständigkeitsprüfung kann mit und ohne farbgebende Deckbeschichtungen durchgeführt werden. Die Prüfung ist für künstliches Meerwasser und künstliches Brackwasser durchzuführen.

Zur Verbindung zum Potentiostaten müssen die Probeplatten am Rand über eine stabile elektrische Verbindung verfügen, die nicht durch Korrosion beeinträchtigt wird. Die Lötstellen und Ränder sind mit Beschichtungsmaterial zu versiegeln. Unmittelbar vor der Durchführung der Belastung ist auf jeder Probeplatte eine definierte Fehlstelle auf der beschichteten Oberfläche bis zum Stahlsubstrat durch Strahlen oder Fräsen anzubringen.

Die Prüflösungen künstliches Meerwasser und künstliches Brackwasser werden während der Prüfdauer von einem ständigen Frischluftstrom durchperlt. Die Prüflösungen sind entsprechend Tabelle 11 herzustellen. Für künstliches Meerwasser ist eine Prüflösung nach DIN 50905-4 oder ISO 15711 anzusetzen.

Tabelle 11: Elektrolytzusammensetzung für die jeweiligen Prüflösungen der KKS-Beständigkeitsprüfung.

Eingesetztes Salz	Chemische Formel	künstliches Meerwasser [g/L]		künstl. Brackwasser [g/L]
		DIN 50905-4 *	ISO 15711	DIN 50905-4 *
Natriumchlorid	NaCl	28,0	23,0	5,6
Natriumhydrogencarbonat	NaHCO ₃	0,2	---	---
Natriumsulfat-Dekahydrat	Na ₂ SO ₄ • 10 H ₂ O	---	8,9	---
Magnesiumchlorid-Hexahydrat	MgCl ₂ • 6 H ₂ O	5,0	9,8	1,0
Magnesiumsulfat-Heptahydrat	MgSO ₄ • 7 H ₂ O	7,0	---	1,4
Calciumchlorid	CaCl ₂	---	1,2	---
Calciumchlorid-Hexahydrat	CaCl ₂ • 6 H ₂ O	2,4	---	0,48
Natriumcitrat-Dihydrat	C ₆ H ₅ Na ₃ O ₇ • 2 H ₂ O	---	---	0,2
Thioacetamid	CH ₃ CSNH ₂	---	---	0,1
pH-Wert		7 bis 8	---	7,5 ± 0,2

* Das Ansetzen der Lösungen erfolgt nach den Vorgaben der DIN 50905-4.

Die lose und unterwanderte Beschichtung wird mit einem geeigneten Werkzeug entfernt und auf der freigelegten Fläche wird die Enthaftung ausgehend von der Fehlstelle (äußerer Kreis) ausgemessen. Die Prüfung der Haftfestigkeit mit Abreißversuch erfolgt nach 7 Tagen.

Die Prüfkriterien (nach Beendigung der Belastung) sind in Tabelle 12 aufgelistet.

Tabelle 12: Anforderungen und Bewertungsverfahren für die Bestimmung der Beständigkeit gegen kathodische Enthaftung.

Zonen 1 (Boden/UWZ) / 2 (NWZ/WWZ/SpWZ)	
Anforderung	Wert
Prüfdauer	15 Monate
Anzahl Probeplatten	6 (3 für Meerwasser und 3 für Brackwasser)
Potenzial (Ag/AgCl/KClges.)	-930 ±5 mV
Kreisverletzung in der Mitte der Probeplatte bis zum Substrat (maschinell gefräst)	Äußerer Kreis: D = 30 mm mit Fräsbreite 1 mm Innerer Kreis: D = 5 mm vollflächig
Bewertungsverfahren	Bewertungskriterium
Blasengrad (ISO 4628-2)	0 (S0)
Bewertung der Enthaftung am Bruchbild	≤ 10 mm
Haftfestigkeit – Abreißversuch (ISO 4624)	≥ 5 MPa (Einzelmessung, siehe Kapitel 4.2) jeweils unabhängig vom Bruchbild

5.8 Wasserdampfdiffusionsprüfung – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit am freien Beschichtungsfilm

Die Wasserdampfdiffusionsprüfung wird mit dem Schalenverfahren in Anlehnung an ISO 7783 durchgeführt.

Die Prüfung wird nur an EP-Beschichtungssystemen durchgeführt.

Der Test dient der Ermittlung der Wasserdampfdiffusion an einem einschichtigen ausgehärteten freien Beschichtungsfilm. Dazu wird die Beschichtung als freier Film aufgezogen. Es wird empfohlen hierbei eine Trockenschichtdicke von $400 \pm 50 \mu\text{m}$ zu verwenden. Alternativ ist die spezifische NDFT der aufgetragenen Beschichtung zu prüfen. Mit der Prüfung darf frühestens 7 Tage nach der Aushärtung begonnen werden.

Von 3 Prüfungen müssen 2 Prüfungen die Anforderungen erfüllen. Die Prüfkriterien sind in Tabelle 12 aufgelistet.

Tabelle 12: Prüfanforderungen für den Diffusionstest.

Zonen	1 (Boden/UWZ) / 2 (NWZ/WWZ/SpWZ)
Prüfdauer	21 Tage
Prüfgerät	Durchlässigkeitsbecher
Prüffläche	$\geq 10 \text{ cm}^2$
Vorlage VE-Wasser	2 g für 10 cm^2 (größere Flächen sind auf das Volumen des Töpfchens zu beziehen)
Prüfort	Trockenschrank
Temperatur im Trockenschrank	40 °C
Zwischenkontrollen	Nach 7 und nach 14 Tagen
Anforderungen/Kennwerte	
Wasserdampf-Stromdichte [$\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{h})$]	$\leq 0,40$

6 Regelwerke

Auflistung der zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Standards zitierten geltenden Normen und Regelwerke:

Normen:

DIN 50905-4: 2018-03	Korrosion der Metalle – Korrosionsuntersuchungen; Teil 4: Durchführung von chemischen Korrosionsversuchen ohne mechanische Belastung in Flüssigkeiten im Laborato- rium
EN 10020:2000-07	Begriffsbestimmung für die Einteilung der Stähle
ISO 2431:2019-06	Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Auslaufzeit mit Aus- laufbechern
ISO 2811-1:2023-01	Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Dichte – Teil 1, Pyknometerverfahren
ISO 2812-2:2018-11	Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Beständigkeit ge- gen Flüssigkeiten – Teil 2: Verfahren mit Eintauchen in Wasser
ISO 2884:1999-10	Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Viskosität mit Rota- tionsviskosimetern
ISO 3251:2019-05	Beschichtungsstoffe und Kunststoffe – Bestimmung des Gehaltes an nichtflüchtigen Anteilen
ISO 4624:2013-03	Abreißversuch zur Beurteilung der Haftfestigkeit
ISO 4628-2:2016-01	Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschä- den – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 2: Bewertung des Blasengrades
ISO 4628-3:2016-01	Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschä- den – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 3: Bewertung des Rostgrades
ISO 4628-4:2016-01	Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschä- den – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 4: Bewertung des Rissgrades
ISO 4628-5:2022-11	Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschä- den – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden

	und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 5: Bewertung des Abblätterungsgrades
ISO 4628-8:2012-11	Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsschäden – Beurteilung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen – Teil 8: Bewertung der von einem Ritz oder einer anderen künstlichen Verletzung ausgehenden Enthftung und Korrosion
ISO 6270-1:2017-11	Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit – Teil 1: Kondensation (einseitige Beanspruchung)
ISO 6272-1:2011-08	Beschichtungsstoffe – Prüfung der Widerstandsfähigkeit bei schlagartiger Verformung (Schlagprüfung) – Teil 1: Prüfung durch fallendes Gewichtsstück, große Prüffläche
ISO 7783:2018-10	Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit - Schalenverfahren
ISO 8501-1:2007-05	Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen – Visuelle Beurteilung der Oberflächenreinheit – Teil 1: Rostgrade und Oberflächenvorbereitungsgrade von unbeschichteten Stahloberflächen und Stahloberflächen nach ganzflächigem Entfernen vorhandener Beschichtungen
ISO 8503-1:2012-02	Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen – Rauheitskenngrößen von gestrahlten Stahloberflächen – Teil 1: Anforderungen und Begriffe für ISO-Rauheitsvergleichsmuster zur Beurteilung gestrahlter Oberflächen
ISO 9227:2022-11	Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären – Salzsprühnebelprüfungen
ISO 12944-5: 2019-09	Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 5: Beschichtungssysteme
ISO 12944-6: 2018-01	Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 6: Laborprüfungen zur Bewertung von Beschichtungssystemen

ISO 12944-9: 2018-01	Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 9: Beschichtungssysteme und Leistungsprüfverfahren im Labor für Bauwerke Offshorebereich
ISO 15711:2003-05	Beschichtungsstoffe – Bestimmung des Widerstandes gegen kathodische Enthaftung von Beschichtungen in Meerwasser
ISO 16276-2: 2007-05	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Beurteilung der Adhäsion/Kohäsion (Haftfestigkeit) einer Beschichtung und Kriterien für deren Annahme – Teil 2: Gitterschnitt- und Querschnittprüfung
ISO 16474-3: 2021-01	Beschichtungsstoffe – Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten – Teil 3: UV-Fluoreszenzlampen
ISO/IEC 17025: 2017-11	Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
ISO 19840:2021-09	Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Messung der Trockenschichtdicke auf rauen Substraten und Kriterien für deren Annahme

Reihe vgbe/VGB/BAW-Standard VGBE/VGB-S-021

„Korrosionsschutz von Offshore-Bauwerken zur Nutzung der Windenergie“

Teil 1 „Allgemeines“ (VGBE-S-021-01-2023-05-DE), 2023

Teil 2 „Anforderungen an Korrosionsschutzsysteme“
(VGBE-S-021-02-2023-05-DE), 2023

Teil 3 „Applikation von Beschichtungssystemen“
(VGBE-S-021-03-2023-05-DE), 2023

Teil 4 „Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)“ (VGB-S-021-04-2018-07-DE), 2018

Richtlinien (in der jeweils aktuellen Fassung):

RPB der BAW	Richtlinien für die Prüfung von Beschichtungssystemen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau
-------------	--

7 Anlage: Dokumentation zur Herstellung der Probeplatten

Name des applizierenden Unternehmens:

Substrat (Stahlsorte):

Datum der Applikation:

Die Herstellung der Probeplatten erfolgt gemäß Kapitel 2.2.

Schicht	Produktname	Binde- mittel- typ / Stoffart	Chargen- nummer (Farbe)	Applika- tions- verfahren*	Aushärtungsbedingungen			DFT [μm] (aus mind. 5 Einzelmessungen)	
					Luft- tempe- ratur [°C]	relative Luft- feuchte [%]	Aus- härte- zeit [hh:mm]	min. / mittel / max.	Std.- Abw.
1									
2									
3									
4									
5									

* AS - Airless PS - Pneumatisch Spritzen Str. - Streichen R - Rollen

Falls eine Verdünnerzugabe erforderlich ist, muss sie nach den Vorgaben des Beschichtungsstoffherstellers erfolgen. Diese ist zu dokumentieren.

....., den
Unterschrift

Herausgeber:
vgbe energy e. V.
Deilbachtal 173
45257 Essen
Deutschland

Verlag:
vgbe energy service GmbH
Deilbachtal 173
45257 Essen
Deutschland

t +49 201 8128-0
e sales-media@vgbe.energy

be informed

www.vgbe.energy
www.vgbe.services

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

ISBN 978-3-96284-315-1 (eBook, Deutsch)

ISBN 978-3-96284-318-2 (eBook, Englisch)