Europäische
Forschungsgesellschaft
für Blechverarbeitung e. V.

Merkblatt Nr. EFB 3485

Prüfung von Korrosionsschutzsystemen für mechanische Fügeverbindungen – Schließringbolzensysteme

Offenlegung

Arbeitsgruppe: Mechanisches Fügen

Untergruppe: AGMF-8 „Prüfung und Verbindungseigenschaften“

Stand: Januar 2024

Dieses Merkblatt wurde durch eine Gruppe von ehrenamtlich tätigen erfahrenen Experten und Expertinnen innerhalb einer Arbeitsgruppe der Europäischen Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. erarbeitet und wird als wichtige unverbindliche Erkenntnisquelle empfohlen.
Die Anwender und Anwenderinnen haben jeweils zu prüfen, inwieweit der Inhalt auf ihre speziellen Fälle anwendbar ist und ob die vorliegende Fassung des Merkblatts Gültigkeit besitzt. Die Haftung der Erstellenden, der an der Ausarbeitung und Freigabe Mitwirkenden sowie der EFB ist ausgeschlossen.

© EFB Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V.
Lothringer Str. 1 | 30559 Hannover
Fon +49 (511) 971 75-0 | Fax +49 (511) 971 75-19 | www.efb.de

Bezug über https://shop.efb.de

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers

Inhalt

1 Zweck und Geltungsbereich des Merkblattes 3
2 Grundlagen 3
2.1 Allgemeines 3
2.2 Definitionen 4
2.3 Gültigkeitsbereich des Merkblattes 4
3 Ablaufplan zur Durchführung 4
3.1 Ermittlung des Beschichtungszustandes im Ausgangszustand (I) 6
3.2 Ermittlung des Beschichtungszustandes im gesetzten Zustand (II) 7
3.3 Ermittlung der Korrosionsbeständigkeit (III) 8
4 Auswahl des Prüfverfahrens 8
4.1 Standardisierte Prüfverfahren im Labor 8
4.2 Freibewitterung 9
5 Hinweise zur Versuchsdurchführung 10
5.1 Probekörperherstellung: 11
5.1.1 Installation des Schließringbolzensystems 11
5.1.2 Materialauswahl des Probenkörpers 11
5.1.3 Geometrie des Probenkörpers 11
5.2 Vorlocheinbringung 13
5.3 Durchmesser des SRB-Systems 13
5.4 Mechanische Vorbelastung 13
5.5 Ausrichtung der Probenkörper 13
6 Dokumentation der Korrosionsprüfung 14
6.1 Dokumentation des Beschichtungszustandes im Ausgangszustand (I) 15
6.2 Dokumentation des Beschichtungszustandes im gesetzten Zustand (II) 17
7 Bewertung der Ergebnisse der Korrosionsprüfung 18
8 Schrifttum 19
9 Beteiligte Forschungseinrichtungen und Unternehmen 20

Offenlegung

Schlagworte

(1) In der Offenlegung werden die Absätze des Fließtextes nummeriert, damit die Anmerkungen anhand der Absatznummern leicht nachzuverfolgen sind.

1 Zweck und Geltungsbereich des Merkblattes

(2) Das Merkblatt gibt eine Handlungsempfehlung zur Qualifizierung von Korrosionsschutzsystemen für Schließringbolzensysteme (SRB-Systeme).

(3) Es dient als Erweiterung/ Ergänzung zum Merkblatt DVS/EFB 3480-1: 2021 [1] „Prüfung von Verbindungseigenschaften".

(4) Das Merkblatt gilt für SRB-Systeme aus Stahl mit und ohne Sollbruchstelle und Abrissteil (DVS/EFB 3435-1: 2021 [2] „Schließringbolzensysteme") mit typischen Oberflächenschutzsystemen.

(5) Typische Oberflächenschutzsysteme bestehen aus metallischen Basisschichten mit und ohne zusätzliche organische Deckbeschichtungen, die je nach Anforderung ein- oder mehrschichtig ausgeführt werden.

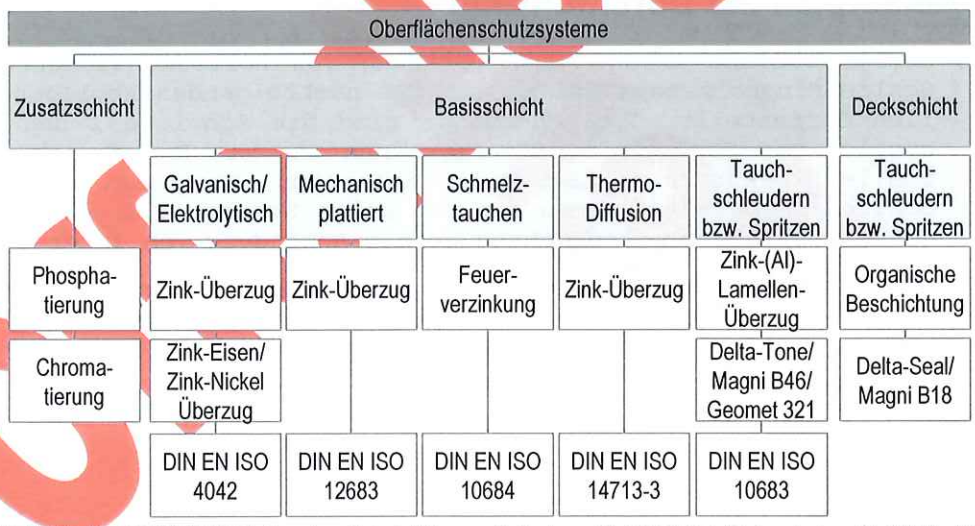
Basisschicht:

- Überzüge aus Zink- oder Zinklegierungen appliziert mit unterschiedlichen Verfahren (galvanisch, mechanisch, im Schmelztauchverfahren, im Thermodiffusionsverfahren)
- Zink-Lamellenüberzüge appliziert im Tauch- Tauchschleuder- oder Spritzverfahren mit und ohne zusätzliche Pigmente (Aluminium, Magnesium, etc.)

Deckschicht:

- Organische Beschichtungen auf Kunststoffbasis (bspw. Epoxidharz) mit Korrosionsschutzpigmenten (Zink, Aluminium etc.) und/ oder Farbpigmente für dekorative Zwecke.

(6) Zur Vorbereitung für die Applikation der Basis- und Deckschichten sowie zum abschließenden Schutz können Zusatzschichten mittels Phosphatierung oder Chromatierung erzeugt werden. Sie dienen unter anderem zur Verbesserung des Haftgrundes, des Verschleißschutzes, der Gleiteigenschaften und des Korrosionsschutzes. Weiterhin ist eine Versiegelung mittels anorganischer Schutzschichten möglich (Silikatisierung).



EU-Richtlinie 2000/53/EG ist zu berücksichtigen. Seit dem 01.07.2007 dürfen keine Cr(VI)-haltigen Beschichtungssysteme für Verbindungselemente eingesetzt werden.

Abbildung 1: Übersicht typischer Oberflächenschutzsystem von SRB-Systemen

2 Grundlagen

2.1 Allgemeines

(7) Die Handlungsempfehlung richtet sich an Hersteller von SRB-Systemen, die ein neues Korrosionsschutzsystem oder ein neues SRB-System (Geometrie, Material) auf den Markt bringen wollen, Anpassungen / Änderungen

im Produktionsprozess vornehmen oder ihren bestehenden Produktionsprozess überwachen wollen sowie für Anwender, die einen spezifischen Anwendungsfall prüfen möchten.

(8) Weiterhin ist es empfehlenswert bei neuen Setzwerkzeugen eine Überprüfung vorzunehmen. (Einstieg ab Schritt II des Prüfablaufes).

2.2 Definitionen

a. Schließringbolzensystem (SRB-System)
Ein Schließringbolzensystem besteht aus einem Schließringbolzen und dem dazugehörigen Schließring. Die Verarbeitung ist in EFB 3435-1 [2] dargestellt.

b. Verbindungsmittel
Mithilfe des Verbindungsmittels (hier: Schließringbolzensystem) werden Bauteile gefügt und es wird somit eine Verbindung hergestellt.

c. Verbindung
Die Verbindung bezeichnet den konstruktiven Punkt, an dem sich zwei oder mehrere Bauteile treffen. Für die Berechnung besteht die Verbidnung aus der Anordnung von einem Verbindungsmittel und mindestens zwei Bauteilen, für die die sichere Übertragung der Schnittgrößen nachgewiesen wird.

2.3 Gültigkeitsbereich des Merkblattes

(9) Die Gültigkeitsbereich dieses Merkblattes umfasst Schließringbolzensysteme gemäß EFB 3435-1 [2].

3 Ablaufplan zur Durchführung

(10) Der empfohlene Ablauf einer Prüfung von Korrosionsschutzsystemen für Schließringbolzensysteme ist in der nachfolgenden Abbildung 2 anschaulich dargestellt. Typischerweise sind die Schritte I und II für Hersteller von Schließringbolzensystemen und mit Einschränkung III (spezielle Prüfkörper mit Beschichtungen) von Interesse. Für Anwender von Schließringbolzensystemen ist vor allem Schritt III, d.h. mit spezifischen Prüfkörper entsprechend seiner Anwendung von Interesse.

(11) Die nachfolgende Erläuterung des Ablaufplans gliedert sich entsprechend der im Ablaufdiagramm dargestellten Arbeitsschritte (I, II, III).

Offenlegung

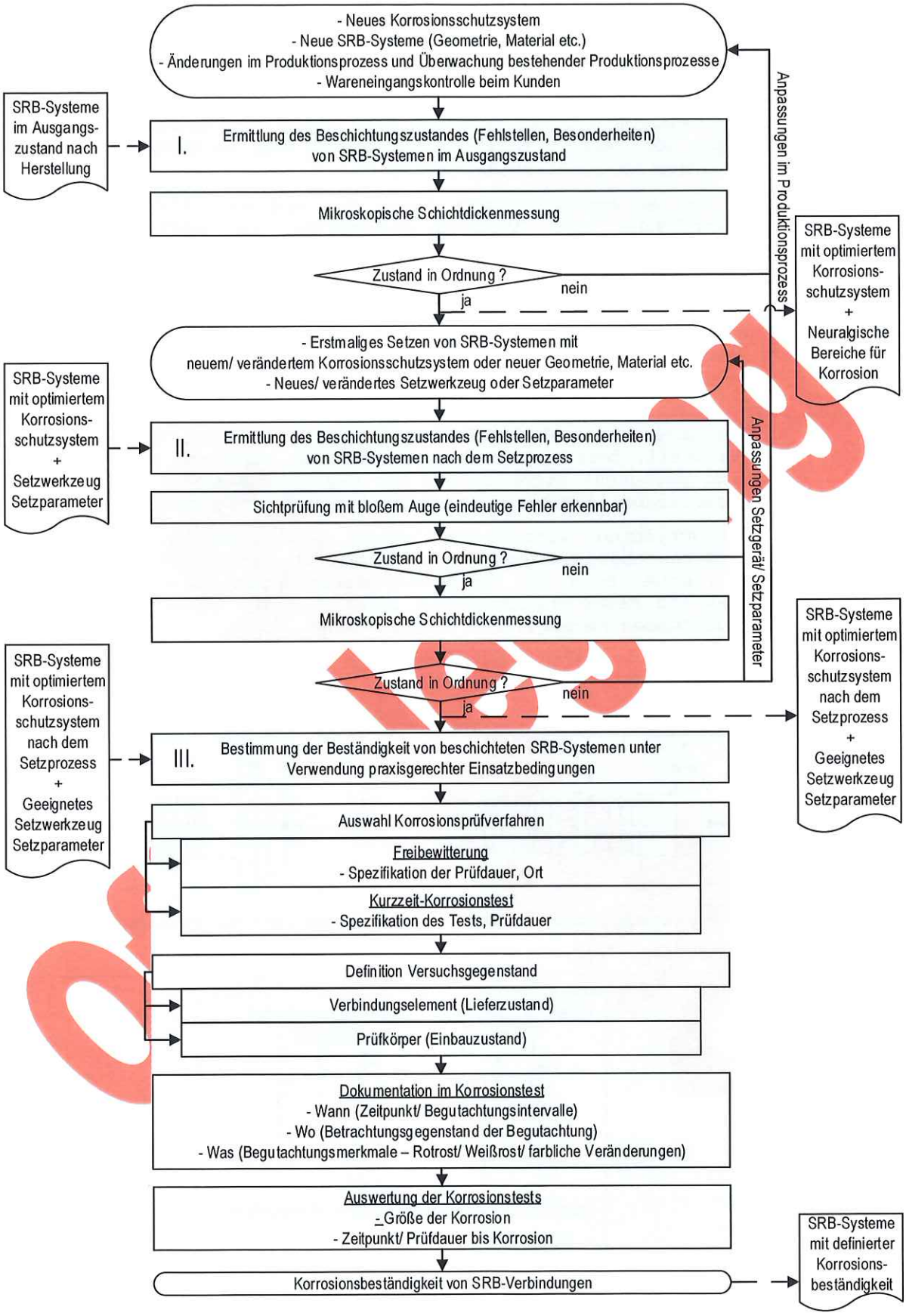


Abbildung 2: Ablaufplan zur Beschichtungsprüfung von SRB-Systemen

3.1 Ermittlung des Beschichtungszustandes im Ausgangszustand (I)

(12) Die Schichtdicke und der Aufbau der Schicht stellt ein wesentliches Qualitätsmerkmal für die Funktionalität (den Korrosionsschutz) des Oberflächenschutzsystems dar.

(13) Die Probennahme sollte, so vorhanden, unter Berücksichtigung der Anforderungen der jeweils maßgeblichen normativen Vorgaben erfolgen, bspw. gemäß DIN EN ISO 10683:2018-11 [23].

(14) Dabei ist es empfehlenswert nicht nur die Soll-Schichtdicke auf der Referenzfläche der Verbindungselemente zu prüfen, entsprechend DIN EN ISO 4042: 2018 [3], sondern die Schichtdickenverteilung entlang der Geometrie zu ermitteln.

(15) Je nach Applikationsverfahren sind Schichtdickenunterschiede zu erwarten. Entscheidend ist jedoch, dass die Mindestangaben nicht unterschritten werden und Applikationsprobleme (Fehlstellen, Abplatzung, Risse) an neuralgischen Bereichen erkannt werden.

(16) Dazu eignet sich das Verfahren der mikroskopische Schichtdickenanalyse an Querschliffen (DIN EN ISO 2808: 2019 [4]). Dieses Verfahren hat zwar den Nachteil, dass eine Probenvorbereitung (trennen, einbetten, schleifen und polieren) erforderlich ist und eine Analyse ausschließlich an der jeweiligen, gewählten Querschnittsebene erfolgen kann.

(17) Der entscheidende Vorteil ist jedoch, dass unabhängig von der Art des Oberflächenschutzsystems und der Geometrie des Verbindungselementes ein detailliertes Bild des Beschichtungszustandes ermittelt werden kann, welches als Bewertungskriterium bspw. für die Anpassung des Beschichtungsprozesses herangezogen werden kann.

(18) Alternative Verfahren müssen geeignet sein, auch an gekrümmten Oberflächen Schichtdicken zu bestimmen.

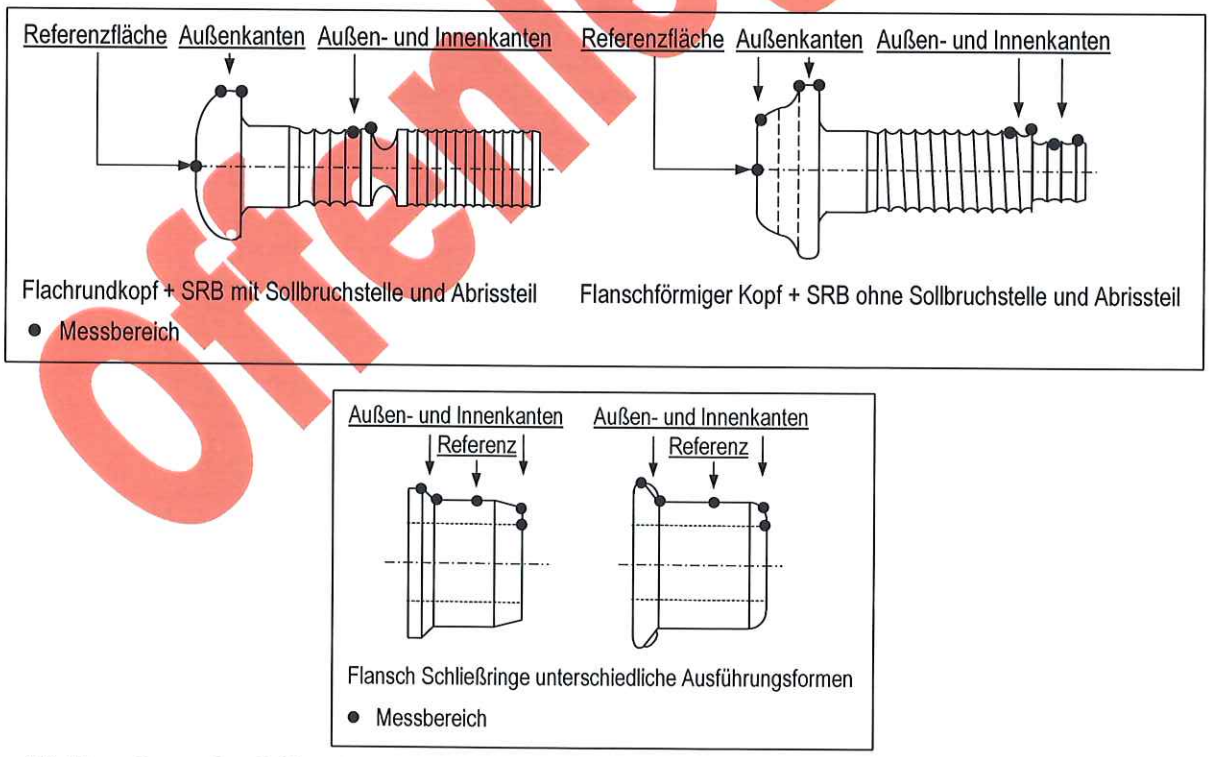


Abbildung 3: Empfohlene Messbereiche zur Ermittlung des Beschichtungszustandes im Ausgangszustand

(19) Empfohlene **Messbereiche** sind in Abbildung 3 aufgeführt: Sie beinhalten die Referenzfläche auf dem Bolzen und Schließring entsprechend der DIN EN ISO 4042: 2018 [3] sowie die Außenkanten des Schließringes und des

Offenlegung

Bolzenkopfes, den Rillengrund und die Rillenspitzen am Schaftende bzw. zusätzlich am Zugteil bei SRB-Systemen ohne Sollbruchstelle. Bei der Auswahl des Rillengrundes und der Spitze stehen am Bolzen grundsätzlich eine Vielzahl zur Verfügung. Empfohlen werden jeweils die, die sich auch nach dem Setzprozess im sichtbaren Bereich der Fügeverbindungen befinden.

(20) Je Messbereich sollten 3-5 Einzelmessungen vorgenommen werden, eine statistische Auswertung und eine Beschreibung von Merkmalen (Risse, Fehlstellen etc.) erfolgen.

3.2 Ermittlung des Beschichtungszustandes im gesetzten Zustand (II)

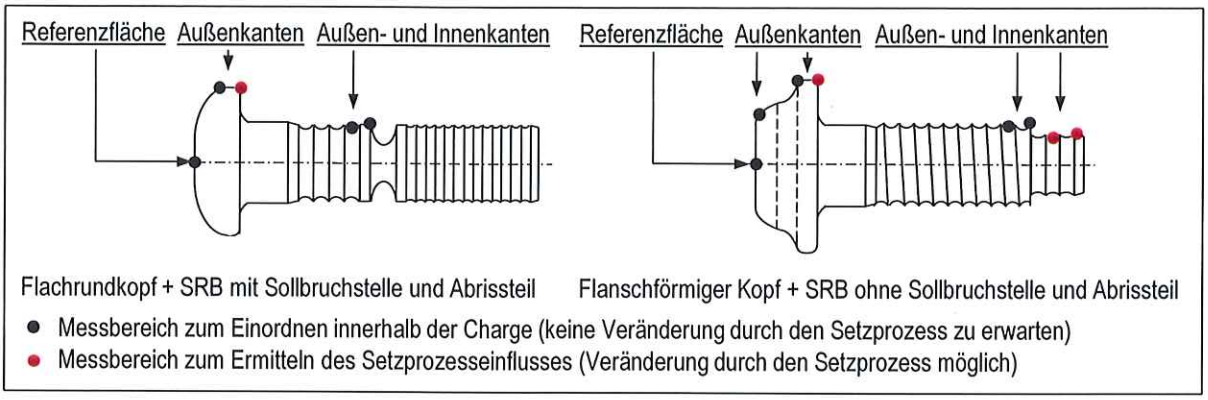
(21) Beim erstmaligen Setzen von SRB-Systemen mit neuem/ verändertem Korrosionsschutz, neuer Geometrie oder Grundmaterial sowie beim Einsatz eines neuen/ angepassten Setzwerkzeuges oder Setzparameter ist es sinnvoll nach einer Sichtprüfung mit bloßem Auge eine Überprüfung der Schichtdicke auf den SRB-Systemen vorzunehmen.

(22) Der Ablauf ist nachfolgend dargestellt, wobei ab dem Einbetten der Vorgang analog zum Bearbeitungsschritt I erfolgt.

Abbildung 4: Arbeitsschritte zur Ermittlung des Beschichtungszustandes im gesetzten Zustand

(23) Die empfohlenen **Messbereiche** entsprechen denen aus Bearbeitungsschritt I. Dabei ist an den rot markierten Bereichen eine Veränderung des Korrosionsschutzsystems durch den Setzprozess möglich. (Flächenpressung an der unteren Außenkante des Kopfes und des Schließringes, Werkzeugeingriff am Zugteil, plastische Verformung des Schließringes). Zudem haben Untersuchungen gezeigt, dass an den Rillenspitzen im Kontaktbereich zwischen Schließring und Bolzen eine Deformation (Abtrag/ Verschiebung) der Korrosionsschutzschicht stattfinden kann. Da dieser Bereich im Inneren der Verbindung liegt, wird er in der nachfolgenden Abbildung nicht als neuralgischer Punkt aufgeführt.

Offenlegung



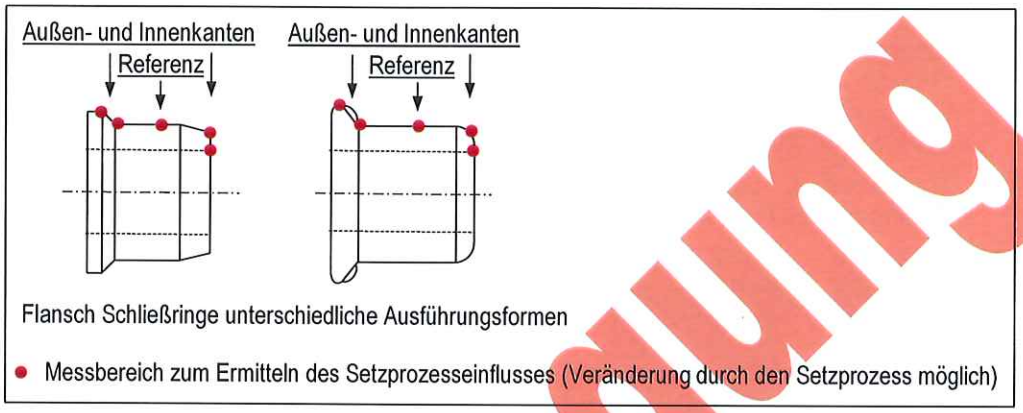


Abbildung 5: Empfohlenen Messbereiche zur Ermittlung des Beschichtungszustandes im gesetzten Zustand

Offenlegung

3.3 Ermittlung der Korrosionsbeständigkeit (III)

(24) Zur Bestimmung der Korrosionsbeständigkeit gibt es eine Vielzahl an Variablen für den Anwender zu berücksichtigen.

a) Auswahl des Prüfverfahrens
b) Definition des Versuchsgegenstandes
c) Dokumentation im Korrosionstest
d) Bewertung

(25) Auf die einzelnen Punkte wird nachfolgend in Abschnitt 4 genauer eingegangen.

4 Auswahl des Prüfverfahrens

(26) Ziel ist es die Korrosions-/ Alterungsbeständigkeit der Oberflächenschutzsysteme auf SRBs zu ermitteln. Dazu steht dem Anwender eine Vielzahl unterschiedlicher Prüfverfahren zur Verfügung.

4.1 Standardisierte Prüfverfahren im Labor

(27) Nachfolgend sind **standardisierte Prüfverfahren im Labor** aufgeführt, die sowohl in Normen für Oberflächenschutzsysteme von Verbindungselementen (DIN EN ISO 4042: 2018 [3], DIN EN ISO 10683: 2018 [6], DIN EN ISO 10684: 2011 [7]) als auch in allgemeinen Normen für Zinküberzüge (DIN EN ISO 2081: 2018 [8], DIN EN ISO 12683: 2005 [9]) und Beschichtungsstoffe (DIN EN ISO 12944-6: 2018 [10]) referenziert werden:

- Konstant-Klima:

- Salzsprühnebelprüfungen nach DIN EN ISO 9227: 2017 [11]
  - Neutrale Salzsprühnebelprüfung (NSS-Prüfung) – **i.d.R. verwendet**
  - Essigsäure-Salzsprühnebelprüfung (AASS-Prüfung)
  - Kupferbeschleunigte Essigsäure-Salzsprühnebelprüfung (CASS-Prüfung)
- Kondenswasser-Konstant-Klima Prüfung nach DIN EN ISO 6270-1: 2018 [12]
- Prüfung mit Schwefeldioxid unter allgemeiner Feuchtigkeitskondensation (kontinuierlich) nach DIN EN ISO 6988: 1997 [13]

- Wechsel-Klima/ zyklische Alterung:

- Kondenswasser-Wechselklima Prüfung nach DIN EN ISO 6270-2: 2018 [14]
  - Prüfung mit Schwefeldioxid (diskontinuierlich 8h Prüfkammer, 16h Raumatmosphäre) nach DIN EN ISO 6988: 1997 [13]
  - Zyklische Alterungsprüfung nach DIN EN ISO 12944-6: 2018 [10] Anhang B

- Des Weiteren nutzen Hersteller, Verbände und Institutionen weitere Prüfstandards in denen zyklische Alterungsprüfungen definiert sind unter anderem:

- Wechseltest VDA 621-415: 1982 [15]
- Wechseltest VDA 233-102: 2013 [16]

(28) Als **Standardverfahren** für die Angabe der Korrosionsbeständigkeit in Produktdatenblättern von SRBs wird die Beständigkeit gegenüber Rotrost in der **NSS-Prüfung** angegeben.

(29) Es ermöglicht i.d.R. die Ermittlung von Beschichtungsfehlern, die bis auf das Grundmaterial gehen (Abplatzungen) bei Zink- und Zinklegierungsüberzügen sowie bei organischen Beschichtungen. Da es ein einfaches, schnelles und „aggressives" Prüfverfahren ist, eignet es sich für die interne Qualitätskontrolle (bspw. des Beschichtungsprozesses) und sollte als solche weiterhin aufgeführt werden. Eine Prognose bezüglich der Korrosionsbeständigkeit auf Basis dieser Ergebnisse ist jedoch nicht empfehlenswert, da aufgrund der Konstant-Klima-Belastung wesentliche Einflussfaktoren unberücksichtigt bleiben, bspw.:

- Zink- bzw. Zinklegierungen: Aufgrund der fehlenden Trockenzyklen ist keine Patina Bildung möglich, wie es in der natürlichen Bewitterung der Fall ist.
- Organ. Beschichtung: Alterungserscheinungen wie Risse, Degradation etc. die bspw. durch UV-Strahlung und wechselnde Feuchtigkeit erzeugt werden, fehlen.

(30) **Zyklische Alterung** bietet ein umfangreicheres Bild bzgl. der Beständigkeit der Beschichtung und verfügt i.d.R. über unwesentlich längere Prüfdauern als Konstant-Klima Tests. Wobei die Auswahl der Belastungszyklen und medialen Belastungen entsprechend des Anwendungsfeldes ausgewählt werden sollten. Sie bieten somit eine bessere Prognosemöglichkeit und die Ergebnisse sollten im Produktdatenblatt ergänzt werden.

(31) Grundsätzlich bleibt jedoch die Aussage bestehen, dass die Ergebnisse aus den beschleunigten Korrosionsprüfungen im Labor i.d.R. kein direktes Maß für die Korrosionsbeständigkeit der Oberflächenschutzsysteme unter realen Einsatzbedingungen sind. (DIN EN ISO 4042: 2018 [3], DIN EN ISO 10683: 2018 [6], DIN EN ISO 2081: 2018 [8], DIN EN ISO 12683: 2005 [9], DIN EN ISO 12944-6: 2018 [10])

4.2 Freibewitterung

(32) Der Vorteil der Freibewitterung ist, dass eine Überlagerung von vielen Belastungsarten stattfindet und alle korrosiven Faktoren abprüft, die am Ort der Anwendung auftreten können. Bei der Wahl des Freibewitterungsstandortes sind daher die gewünschten Bedingungen des eigentlichen Einsatzortes der SRB-Systeme zu berücksichtigen. Im Gegensatz hierzu

Offenlegung

können Labortests nur wenige ausgewählte Faktoren das Abprüfen, was bereits bekannt ist.

- Temperatur und Temperaturwechsel
- Feuchtigkeit
- UV-Strahlung
- Korrosionsbeschleunigende Partikel

(33) Daher ist es insbesondere dann, wenn der Einsatzort bekannt ist, empfehlenswert **Freibewitterungen** durchzuführen bspw., wenn ein Oberflächenschutzsystem für einen Kunden angepasst wird. Dann sollte dort geprüft werden, wo der Kunde die SRBs einsetzt.).Bei Schutzsysteme für die Außenanwendung sind lange Freibewitterungen > 15 Jahre geeignet, entsprechend ihrer Einsatzdauer (reales Verhalten unter Langzeitbedingungen)

(34) Den Nutzen einer Freibewitterung / Feldversuche mit 1-2 Jahren liegt darin, dass bereits Auffälligkeiten und eindeutige Fehler des Korrosionsschutzes ermittelt werden können. Zu nennen sind hier bspw. Risse im Schutzsystem → Elektrolyteintritt → Ausdehnung bei Tieftemperaturen und lokale Abplatzung der Schicht.

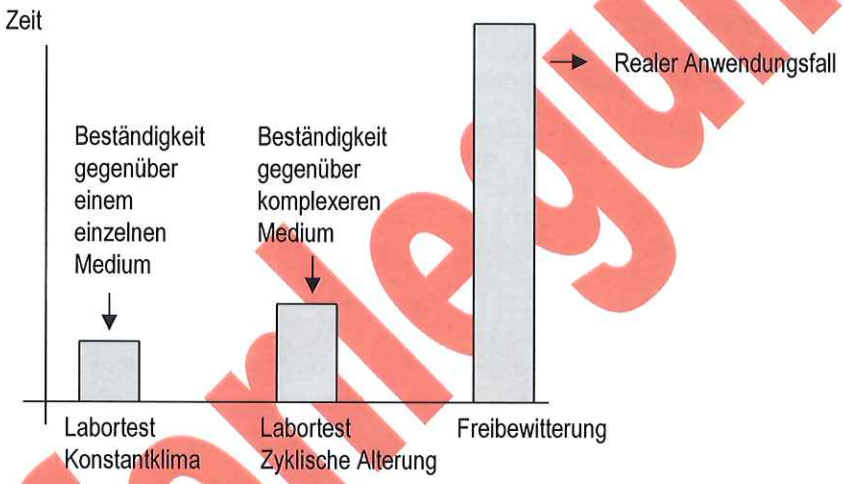


Abbildung 6: Vergleich der Prüfdauer verschiedener Prüfverfahren

5 Hinweise zur Versuchsdurchführung

(35) Den Versuchsgegenstand stellt das SRB-System dar, bestehend aus Schließringbolzen und Schließring

- Standardmäßig ist eine Prüfung im **Lieferzustand** durchzuführen.
- Die SRB-Systeme sind dabei frei hängend ohne Kontakt untereinander oder zur Prüfkammer zu befestigen. Zur Befestigung ist ein inertes Material (Kunststoff) zu verwenden. Geeignet ist bspw. Schnüre aus Polyethylen o. ä.

(36) Diese Art der Prüfung wird bereits standardmäßig für Verbindungselemente eingesetzt und ermöglicht eine Betrachtung der gesamten Oberfläche. Sie dient zur Vergleichszwecken und sollte weiterhin geführt werden auf Produktdatenblättern, um die Vergleichbarkeit verschiedener Verbindungselemente und Korrosionsschutzsystem im Ausgangszustand darzustellen.

- Zusätzlich ist es empfehlenswert eine Prüfung im **verarbeiteten Zustand** durchzuführen, da es dem realen Einsatz entspricht und Untersuchungen gezeigt haben, dass es zu einer reduzierten Korrosionsbeständigkeit kommen kann.

Offenlegung

5.1 Probekörperherstellung:

5.1.1 Installation des Schließringbolzensystems

(37) Die SRB-Systeme sind entsprechend der **Herstellervorgaben zu installieren**. Hierbei wird empfohlen insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Auswahl des Setzgerätes, Setzkopfes, Setzdruck gemäß der Herstellervorgaben.
- Ablauf des Setzprozesses bis zur vollständigen Umformung des Schließringes bspw. bis zum Eindrücken der optischen Markierung auf Schließring.
- Das ausschließlich händische Fixieren/ Aufdrehen der Schließringe auf den Bolzen ist nicht ausreichend und sollte nicht durchgeführt werden, da der Einfluss des Setzprozesses (Umformung des Schließrings und Reibbeanspruchung der Beschichtung) keine Berücksichtigung findet.
- Bei SRB-Systemen mit Abrissteil ist die Sollbruchstelle vor der Korrosionsprüfung abzudecken, um ein Ausbreiten der Korrosion von der offenen Bruchfläche aus zu vermeiden.

5.1.2 Materialauswahl des Probenkörpers

(38) Zu Materialauswahl des Probenkörpers, in den das SRB-System installier wird sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

(39) Es ist ein **inertes Material** (Kunststoff, bspw. POM) zu verwenden, um eine Wechselwirkung zwischen Probekörper und SRB-System zu vermeiden. Aufgrund der Vorspannkräfte der SRB-Systeme ist ein Material zu verwenden, dass über eine entsprechende Druckfestigkeit verfügt. (Bei der Installation kann es hilfreich sein, den Probekörper an den Außenkanten durch entsprechende Winkel zu stützen). Zudem sollte der Probekörper über ein möglichst geringes Gewicht verfügen.

(40) Besonders bei Prüfungen im Labor begrenzt das maximal zulässige Beladungsgewicht der Kammer neben der Probengröße die mögliche Anzahl der gleichzeitig zu prüfenden Proben. Zudem erleichtert es das Probenhandling.

(41) Wenn jedoch der Anwendungsfall eine definierte Kombination aus Probekörper und SRB-System vorsieht, kann anstelle des inerten Materials das entsprechende Fügeteil aus **metallischem Werkstoff inkl. entsprechender Beschichtung** verwendet werden. Auftretende Wechselwirkungen (insbesondere bei metallischen Überzügen wie Zink) werden berücksichtigt.

(42) Zudem haben Ergebnisse gezeigt, dass es zu unterschiedlicher Korrosionsausprägung am Kontaktbereich zwischen SRB-System und Probekörper kommen kann. Bei der Verwendung metallischer Fügeteile ist jedoch auf eine ausreichende Kantenabdeckung bei den Fügeteilen zu achten.

5.1.3 Geometrie des Probenkörpers

(43) Die Geometrie des Probenkörpers sollte unter folgenden Gesichtspunkten ausgewählt werden:

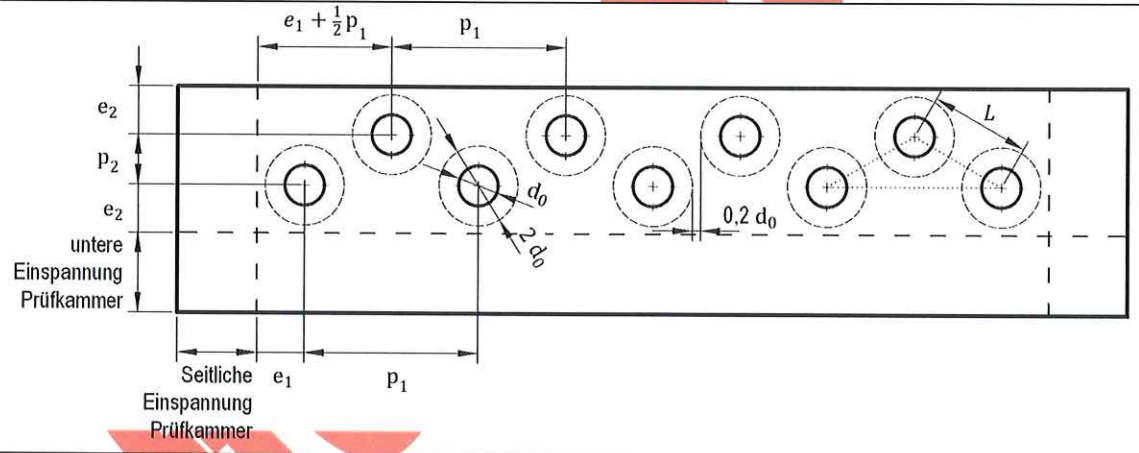
- Es ist ein **unterer Einspannbereich und/ oder ein seitlicher Einspannbereich** zu berücksichtigen, damit die Probe in einem Probenhalter eingesetzt/ befestigt werden kann.
- Es ist ein ausreichender **Rand- und Lochabstand** für die SRB-Systeme eines Probekörpers gewählt werden, damit die Installation mittels Setzgerät erfolgen kann und es während der Korrosionsprüfung zu keiner Kontamination der SRB-Systeme untereinander durch das Ablaufen von Korrosionsprodukten kommen kann.
- Eine **versetzte Anordnung** begrenzt auf 2 Reihen ist daher besonders geeignet.
- Als Bezugsgröße für die **Abstände** wird der Lochdurchmesser d_0 verwendet. Die gewählten Abstände (Tabelle 1) basieren auf dem Merkblatt DVS-EFB 3435-2:2016 [17] (Minimum - red.

Offenlegung

Tragkraft bei Zug). Abweichend von dem Merkblatt wird jedoch der Lochabstand vertikal (p_2) definiert, um einen Abstand von mind. $0{,}2d_0$ zwischen den SRB´s zu gewährleisten. Der Abstand L berechnet sich aus dem Lochabstand vertikal (p_2) und horizontal (p_1).

Tabelle 1: Modifizierte Rand- und Lochabstände aufbauend auf DVS-EFB 3435-2:2016 [17]

Bezeichnung	Prüfkörper für Korrosionsuntersuchungen	Vergleich: DVS-3435-2 Minimum (red. Tragkraft bei Zug)
Positionierung	Versetzte Anordnung	Versetzte Anordnung
Randabstand horizontal e_1	≥ 1,2 d_0	- (≥ 1,2 d_0 Standard)
Randabstand vertikal e_2	≥ 1,2 d_0	- (≥ 1,2 d_0 Standard)
Lochabstand horizontal p_1	≥ 4,4 d_0 (projizierter Abstand der Kopfaußenkanten der SRBs ≥ 0,2 d_0 erhalten, s. Abb.)	- (berechneter Wert) (Abstand 0,078 d_0,Überlappung möglich)
Lochabstand vertikal p_2	≥ 1,2 d_0	≥ 1,2 d_0
Abstand zwischen 2 Verbindungsmitteln L	- (berechneter Wert)	≥ 2,4 d_0
Seitliche Einspannung	Absoluter Wert, abhängig von Probenhalterung	-
Untere Einspannung	Absoluter Wert, abhängig von Probenhalterung	-
Lochdurchmesser d_0 (Kritischer Fall: d_0 entspricht Nenndurchmesser des SRB-Systems) Kopfdurchmesser SRB-System ca. 2 d_0 (d_0 entspricht Nenndurchmesser des SRB-Systems)		



(44) Als **Probendicke** kann der **minimale Klemmbereich** des SRB-Systems gewählt werden, da die neuralgischen Bereiche (vgl. Abbildung 7) für Korrosion im Inneren der SRB-Verbindung am Kontaktbereich von SRB-System und Fügeteil bzw. am unteren Bereich des Schließringbolzenschaftes und Schließringes liegen. [18]

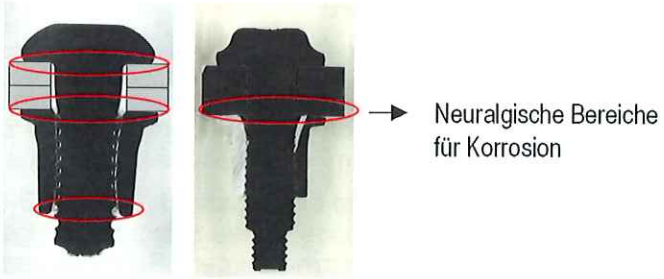


Abbildung 7: Neuralgische Punkte einer Schließringbolzenverbindung bzgl. Korrosionsangriff

5.2 Vorlocheinbringung

(45) Die Maße der Löcher sollten entsprechend des DVS-EFB 3435-2: 2016 [17] Tabelle 5 gewählt werden. Zur einfachen Handhabung wird ein Nennlochspiel für normale, runde Löcher empfohlen. Dies ermöglicht im Vergleich zur Passverbindung ein einfacheres Einbringen der Bolzen und bildet den typischen Einsatzfall ab. Untersuchungsergebnisse haben zudem keine Rotrostbildung während der Korrosionsprüfung im Bereich der Vorlochwandung ermittelt. [18]

(46) Stanzen und Bohren ist möglich und sollte je nach „einfacherer" Handhabung ausgewählt werden, da die neuralgischen Bereiche für Korrosion davon nicht beeinflusst werden. Grate sind zu entfernen.

5.3 Durchmesser des SRB-Systems

(47) Anhand der bisherigen Erkenntnisse ist keine genaue Aussage darüber zu treffen, ob die Ergebnisse von gleicher Oberflächenschutzsysteme auf unterschiedliche SRB-System Durchmesser skalierbar sind.

(48) Erfolgt keine wesentliche geometrische Änderung (Radien, Kanten) ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche SRB-System-Durchmesser zu erwarten. (Hohe Schichtdicken > 20µm für kleine Durchmesser sind ggf. nicht realisierbar.)

5.4 Mechanische Vorbelastung

(49) Der RSA-Test [19] (Rüttel-Schlagstellen-Abriebtest) bietet die Möglichkeit Stoßvorgänge, wie sie beim Transportprozessen oder der Lagerung stattfinden zu simulieren. Ergebnisse an SRB-Systemen mit unterschiedlichen Schutzsystemen haben gezeigt, dass dieser Test keinen wesentlichen Einfluss auf die Schutzsysteme hat. [18]

5.5 Ausrichtung der Probenkörper

(50) Die zu prüfenden SRB-Systeme sind entweder mit dem Schließringbolzenkopf oder mit der Schließringseite zur Belastungsrichtung in der Prüfkammer auszurichten. Dabei ist vorzugsweise ein Winkel von 60° bis 75° gegenüber der Horizontalen zu verwenden, um eine Elektrolytansammlung auf den Proben zu vermeiden.

Abbildung 8: Beispielhafter Auslagerung von SRB-Verbindungen in der Freibewitterung

(51) Es ist darauf zu achten, dass sich die Probekörper nicht gegenseitig berühren oder abfallende Tropfen auf die weiteren Probekörper treffen.

Offenlegung

6 Dokumentation der Korrosionsprüfung

(52) Die Dokumentation erfolgt zu definierten Begutachtungsintervallen. Diese werden je nach Oberflächenschutzsystem und Prüfverfahren individuell zwischen Lieferant/Hersteller und Kunden festgelegt. Anhaltspunkte für die Begutachtungsintervalle bieten Normen und Regelwerke zu den Verfahren (DIN EN ISO 9227: 2017 [11], DIN EN ISO 12944-6: 2018 [10]).

(53) Betrachtungsgegenstand sind die SRB-Systeme. Zur vollständigen Betrachtung der Oberfläche sind 2 um 180°gedrehte Aufnahmen je SRB-System empfehlenswert.

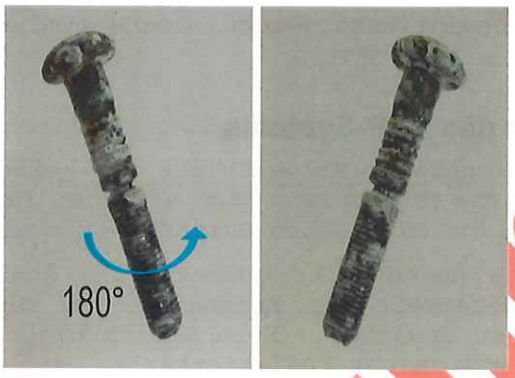


Abbildung 9: Beispielhafte Darstellung zur Dokumentation von Ergebnissen der Korrosionsprüfung an Schließringbolzen

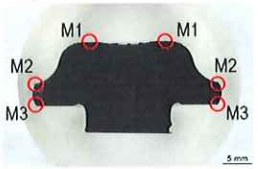
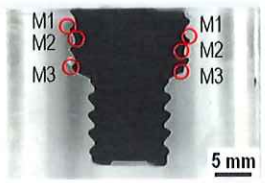
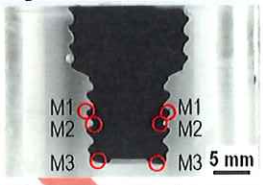
(54) Als Begutachtungsmerkmal wird standardmäßig das Auftreten von Rotrost (Korrosion von Eisen) verwendet. Dies zeigt i.d.R. das Versagen des Schutzsystems bei Probekörpern aus Stahl auf. Eine Ausnahme bilden Zink-Eisenlegierungsüberzüge. Bei diesen kann Rotrost bereits als Reaktion des Oberflächenschutzsystems auftreten. Alternative Begutachtungsmerkmale sind die Ermittlung von Verfärbungen der Oberflächenschutzsysteme oder die Bildung von Zinkkorrosion (Weißrost)

(55) Nachfolgend sind beispielhaft Musterauswertungen zur Dokumentation der Beschichtungszustände im Ausgangszustand sowie im gesetzten Zustand dargestellt.

Offenlegung

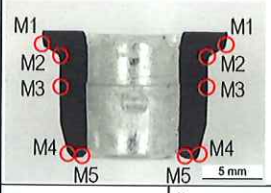
6.1 Dokumentation des Beschichtungszustandes im Ausgangszustand (I)

Tabelle 2: Musterauswertung zur Dokumentation des Beschichtungszustandes im Ausgangszustand (I) an Schließringbolzen

Korrosionsschutz	Bezeichnung eintragen								
Lieferung	Charge 1; Durchmesser								
Stichprobengröße	x								
Bereich	Kopf 			Schaft 			Zugteil 		
Unterteilung	Deck-fläche (M1)	Obere Kante (M2)	Untere Kante (M3)	Rillen-spitze (M1)	Rillen-grund (M2)	End-Kante (M3)	Rillen-spitze (M1)	Rillen-grund (M2)	End-Kante (M3)
Anzahl Messpunkte	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10
Schichtdicke in µm (Min. - Max.)	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x
Schichtdicke in µm (M ± SD)	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x
Gesamtschicht in µm (Min.- Max.)	x - x								
Gesamtschicht in µm (M ± SD)	x ± x								
Ref.-Fläche Schicht in µm (M ± SD)	x ± x	-	-	-	-	-	-	-	-
Herstellerangabe in µm	Mindestens x								
Besonderheiten je Bereich	Fehlstellen, Risse, intakte Schicht etc.								
Datenbasis	Verweis auf Tabelle x mit Schliffbildern und Messungen								
* M = Mittelwert; * SD = einfache Standardabweichung									

Offenlegung

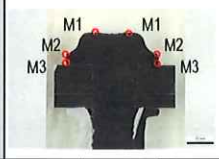
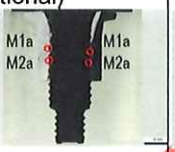
Tabelle 3: Musterauswertung zur Dokumentation des Beschichtungszustandes im Ausgangszustand (I) an Schließringen

Korrosionsschutz	Bezeichnung eintragen				
Lieferung	Charge 2; Durchmesser				
Stichprobengröße	x				
Bereich	Außenfläche 				
Unterteilung	Untere Kante Flansch (M1)	Übergang 1 Flansch-Mantel-fläche (M2)	Mantelfläche (M3)	Übergang 2 Mantel-Stirn-fläche (M4)	Stirnfläche (M5)
Anzahl Messpunkte	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10	ca. 6-10
Schichtdicke in µm (Min. - Max.)	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x
Schichtdicke in µm (M ± SD)	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x
Gesamtschicht in µm (Min.-	x - x				
Gesamtschicht in µm (M ± SD)	x + x				
Ref.-Fläche Schicht in µm (M ± SD)	-	-	x ± x	-	-
Herstellerangabe in µm	x				
Besonderheiten	Fehlstellen, Risse, intakte Schicht etc.				
Datenbasis	Verweis auf Tabelle x mit Schliffbildern und Messungen				
* M = Mittelwert; * SD = einfache Standardabweichung					

Offenlegung

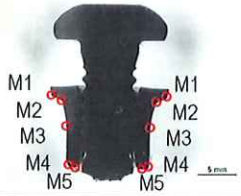
6.2 Dokumentation des Beschichtungszustandes im gesetzten Zustand (II)

Tabelle 4: Musterauswertung zur Dokumentation des Beschichtungszustandes im gesetzten Zustand (II) an Schließringbolzen

Korrosionsschutz	Bezeichnung eintragen										
Lieferung	Charge; Durchmesser										
Stichprobe	x										
Bereich	Kopf			Schaft – Kontaktfrei			Schaft – Kontaktb. (optional)		Zugteil		
											
Unterteilung	Deck-fläche (M1)	Obere Kante (M2)	Untere Kante (M3)	Rillen-spitze (M1)	Rillen-grund (M2)	End-Kante (M3)	Rillen-spitze (M1a)	Rillen-grund (M2a)	Rillen-spitze (M1)	Rillen-grund (M2)	End-Kante (M3)
Anzahl Messpunkte	6-10	6-10	6-10	6-10	6-10	6-10	6-10	6-10	6-10	6-10	6-10
Schichtdicke in µm (Min. - Max.)	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x
Schichtdicke in µm (M ± SD)	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x
Gesamtschicht in µm (Min.- Max.)	x - x										
Gesamtschicht in µm (M ± SD)	x ± x										
Ref.-Fläche Schicht in µm (M ±SD)	x ± x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Herstellerangabe in µm	Mindestens xx										
Besonderheiten	Fehlstellen, Risse, intakte Schicht etc.										
Datenbasis	Verweis auf Tabelle x mit Schliffbildern und Messungen										
* M = Mittelwert; * SD = einfache Standardabweichung											

Offenlegung

Tabelle 5: Musterauswertung zur Dokumentation des Beschichtungszustandes im gesetzten Zustand (II) an Schließringen

Korrosionsschutz	Bezeichnung eintragen				
Lieferung	Charge; Durchmesser				
Stichprobengröße	x				
Bereich	Außenfläche 				
Unterteilung	Untere Kante Flansch (M1)	Übergang 1 Flansch-Mantel-fläche (M2)	Mantelfläche (M3)	Übergang 2 Mantel-Stirn-fläche (M4)	Stirnfläche (M5)
Anzahl Messpunkte	6-10	6-10	6-10	6-10	6-10
Schichtdicke in µm (Min. - Max.)	x - x	x - x	x - x	x - x	x - x
Schichtdicke in µm (M ± SD)	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x	x ± x
Gesamtschicht in µm (Min.-Max.)	x - x				
Gesamtschicht in µm (M ± SD)	x ± x				
Ref.-Fläche Schicht in µm (M ±SD)	-	-	x ± x	-	-
Herstellerangabe in µm	x				
Besonderheiten	Fehlstellen, Risse, intakte Schicht etc.				
Datenbasis	Verweis auf Tabelle x mit Schliffbildern und Messungen				
* M = Mittelwert; * SD = einfache Standardabweichung					

Offenlegung

7 Bewertung der Ergebnisse der Korrosionsprüfung

(56) Typische Bewertungsgrundlage ist i.d.R. der Zeitpunkt bis zum Auftreten von Rotrost gemäß DIN EN ISO 4042: 2018 bzw. DIN EN ISO 10683: 2018 [6].

(57) Skalen für die Bewertung der Korrosionsgröße geben die folgenden normativen Regelwerke:

- DIN EN ISO 10289:2001 [20]
- DIN EN ISO 4628-1: 2016 [21] Reihe (bspw. Rostgrad [22])

(58) Diese beziehen sich jedoch auf Oberflächenschutzsysteme, die auf ebenen Platten appliziert wurden und ermöglichen eine prozentuale Auswertung des Korrosionsschadens in Bezug auf die Vergleichsfläche. Bei komplexeren Bauteilen wie einem Schließringbolzensystem werden zu begutachtende Bereiche z.T. verdeckt bzw. die Oberfläche verzerrt dargestellt.

(59) Eine Möglichkeit besteht in der Einteilung der Oberfläche in kleinere Bereiche, um die Vergleiche anhand der oben benannten Skalen vorzunehmen. Alternativ sind Vergleichsbilder heranzuziehen, die den gesamten zu begutachtenden Bereich darstellen und in Anlehnung an die DIN-Normen erstellt wurden, vgl. Abbildung 10.

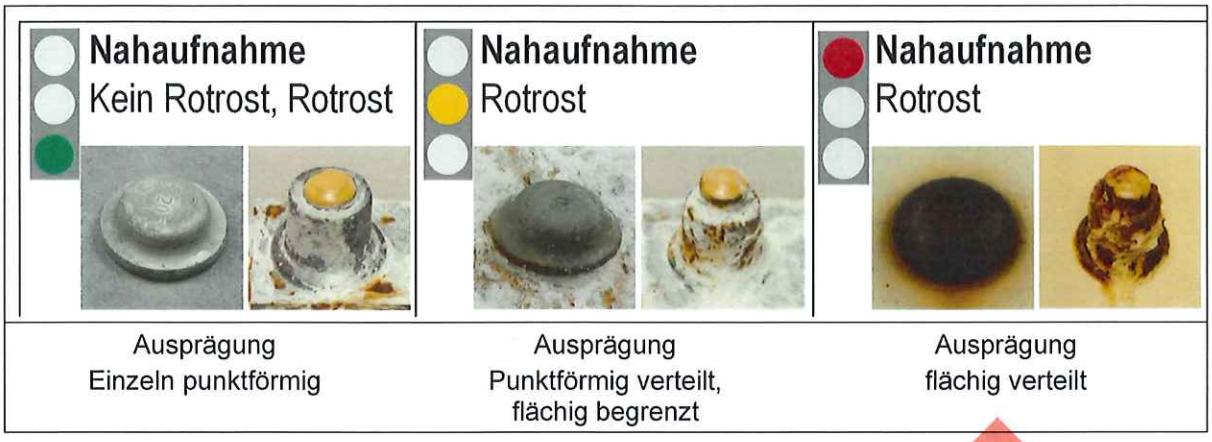


Abbildung 10: Vergleichsbilder zur Bewertung von Korrosionserscheinungen an Schließringbolzenverbindungen

8 Schrifttum

[1] **EFB/DVS 3480-1:** *Prüfung von Verbindungseigenschaften, Prüfung der Eigenschaften mechanisch und kombiniert mittels Kleben gefertigter Verbindungen; Hannover*; EFB-Verlag; Juni 2021.

[2] **EFB/DVS 3435-1:** *Schließringbolzensysteme; Hannover*; EFB-Verlag; Oktober 2021.

[3] **DIN EN ISO 4042:** *Verbindungselemente – Galvanisch aufgebrachte Überzugssysteme;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; November 2018.

[4] **DIN EN ISO 2808:** *Beschichtungsstoffe - Bestimmungs der Schichtdicke;* Berlin; Beuth Verlag; Mai 2007.

[5] **DIN EN ISO 2178:** *Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetall - Messung der Schichtdicke - Magnetverfahren;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; November 2016.

[6] **DIN EN ISO 10683:** *Verbindungselemente – Nichtelektrolytisch aufgebrachte Zinklamellenüberzugsysteme;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; November 2018.

[7] **DIN EN ISO 10684:** *Verbindungselemente - Feuerverzinkung;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; September 2011.

[8] **DIN EN ISO 2081:** *Metallische und andere anorganische Überzüge - Galvanische Zinküberzüge auf Eisenwerkstoffen mit zusätzlicher Behandlung;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; Juli 2018.

[9] **DIN EN ISO 12683:** *Durch mechanisches Plattieren aufgebrachte Zinküberzüge - Anforderungen und Prüfverfahren;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; Februar 2005.

[10] **DIN EN ISO 12944-6:** *Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 6: Laborprüfungen zur Bewertung von Beschichtungssystemen;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; Juni 2018.

[11] **DIN EN ISO 9227:** *Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären - Salzsprühnebelprüfungen;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; Juli 2017.

[12] **DIN EN ISO 6270-1:** *Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit - Teil 1: Kondensation (einseitige Beanspruchung);* Berlin; Beuth Verlag GmbH; April 2018.

[13] **DIN EN ISO 6988:** *Metallische und andere anorganische Überzüge - Prüfung mit Schwefeldioxid unter allgemeiner Feuchtigkeitskondensation;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; März 1997.

[14] **DIN EN ISO 6270-2:** *Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit - Teil 2: Kondensation (Beanspruchung in einer Klimakammer mit geheiztem Wasserbehälter);* Berlin; Beuth Verlag GmbH; April 2018.

[15] **VDA 621-415:** *Anstrichtechnische Prüfungen - Prüfung des Korrosionsschutzes von Kraftfahrzeuglackierungen bei zyklisch wechselnder Beanspruchung;* Bietigheim-Bissingen; Dokumentation Kraftfahrtwesen e.V.; Februar 1982.

[16] **VDA 233-102:** *Zyklische Korrosionsprüfung von Werkstoffen und Bauteilen im Automobilbau;* Juni 2013.

Offenlegung

[17] **EFB/DVS 3435-2:** *Schließringbolzensysteme - Berechnung von Verbindungen nach Eurocode 3 und VDI 2230-Blatt 1; Hannover*; EFB-Verlag; Januar 2016.

[18] **FUCHS, N., NOWAK, K.**, **FLÜGGE, W.**, **LEBELT, P.**, **GEHRKE, J.** und **FRIEDRICH, S.:** *Fügeverbindungen mit Schließringbolzen unter atmosphärischen Belastungen;* EFB-Forschungsbericht; Nr. 500; Hannover; EFB-Verlag; 2018.

[19] **DEUTSCHER SCHRAUBENVERBAND E.V.:** *Leitlinie - Berücksichtigung der Schütt- und Transportprozesse bei der Umstellung auf Cr(VI)-freie Oberflächen*; April 2006.

[20] **DIN EN ISO 10289:** *Verfahren zur Korrosionsprüfung von metallischen und anderen anorganischen Überzügen auf metallischen Grundwerkstoffen - Bewertung der Proben und Erzeugnisse nach einer Korrosionsprüfung;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; April 2001.

[21] **DIN EN ISO 4628-1:** *Beschichtungsstoffe - Beurteilung von Beschichtungsschäden -Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen - Teil 1: Allgemeine Einführung und Bewertungssystem;* Berlin; Beuth Verlag; Juli 2016.

[22] **DIN EN ISO 4628-3:** *Beschichtungsstoffe - Beurteilung von Beschichtungsschäden - Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen - Teil 3: Bewertung des Rostgrades;* Berlin; Beuth Verlag GmbH; Juli 2016.

[23] **DIN EN ISO 10683:2018-11**: Nichtelektrolytisch aufgebrachte Zinklammellenüberzugschutzsysteme, Beuth Verlag GmbH; November 2018

9 Beteiligte Forschungseinrichtungen und Unternehmen

9.1 Forschungseinrichtungen

Hochschule Stralsund
Professur Qualitätsmanagement, Fertigungstechnik, Fügetechnik
Zur Schwedenschanze 15
18435 Stralsund

Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik
Albert-Einstein-Straße 30
18059 Rostock

Universität Paderborn
Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik
Pohlweg 47-49
33098 Paderborn

Technische Universität Dresden
Institut für Fertigungstechnik
Professur für Fügetechnik und Montage
George-Bähr-Straße 3c
01069 Dresden

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
Nöthnitzer Straße 44
01187 Dresden

9.2 Unternehmen

Arnold Umformtechnik GmbH & Co. KG, Dörzbach

Böllhoff Verbindungstechnik GmbH, Bielefeld

EJOT SE & Co. KG, Bad Berleburg

GESIPA Blindniettechnik GmbH, Moerfelden-Waldorf

Howmet Fastening Systems Ltd., Telford, UK

Profil Verbindungstechnik GmbH & Co. KG, Friedrichsdorf

RIBE Verbindungstechnik GmbH & Co. KG, Schwabach

Titgemeyer GmbH & Co. KG, Osnabrück

TOX Pressotechnik GmbH & Co. KG, Weingarten

Tucker GmbH Stanley Engineered Fastening, Gießen

Offenlegung