



Was ist Korrosion?

White Paper

Was ist Korrosion?

von Doug Jones

Bossard Expert Team
Bossard United States

www.bossard.com

Alle Rechte vorbehalten © 2020 Bossard

Die erwähnten Empfehlungen und Hinweise sind im praktischen Einsatz durch den Leser hinreichend zu überprüfen und für deren Anwendung als geeignet zu erklären. Änderungen vorbehalten.



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

WAS IST KORROSION?

Introduction

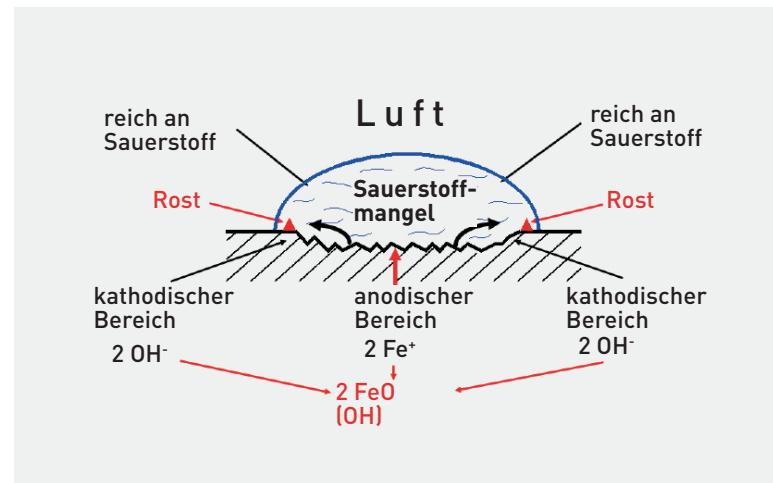
Manchmal kann Korrosion ein erwünschter Effekt sein. So ist beispielsweise eine leichte Patina auf einer Kupfer-Gießkanne sehr dekorativ, in den meisten Fällen möchten wir jedoch vermeiden, dass Produkte vor dem Ablauf ihrer erwarteten Lebensdauer von Korrosion angegriffen werden. Denn Korrosion kann zu unzufriedenen Kunden führen, wenn diese auf ihrem funkelneuen Gartentraktor Rostflecken entdecken. Im schlimmsten Fall kann eine Korrosion Verletzungen und tödliche Unfälle verursachen, wenn beispielsweise die Überdachung über einem Schwimmbad zusammenbricht, dessen Dach nicht korrekt konstruiert wurde. Jeder Ingenieur sollte die verschiedenen Korrosionstypen kennen und angemessene Konstruktionsverfahren zur Korrosionsvermeidung anwenden.

Grundsätzliches zur Korrosion

Die Hauptgründe für Korrosion bei Verbindungselementen sind Feuchtigkeit und elektro-chemische Reaktionen, die zwischen den Verbindungselementen und deren Gegenständen auftreten.

Wassertropfen-Modell

Die obige Abbildung zeigt einen Wassertropfen auf einer glatten Eisenoberfläche. Die Oberfläche des Wassertropfchens ist der Luft ausgesetzt und dadurch reich an Sauerstoff. Das Innere des Tropfens verfügt über zu wenig Sauerstoff. Dadurch entsteht eine elektro-chemische Potenzialdifferenz, die elektrischen Strom fließen lässt. Der Strom fließt durch das Wasser, das als Elektrolyt agiert, von der anodischen Eisenoberfläche zur kathodischen Wasseroberfläche und führt zur Zersetzung der Eisenionen.



Gleichzeitig werden im Wasser Hydroxidionen gebildet, die mit den Eisenionen reagieren und die Abscheidung des Eisenhydroxids $Fe(OH)_2$ hervorrufen. Der aufgelöste Sauerstoff oxidiert diese Verbindung schnell und bildet Eisenoxidhydrat $(FeO(OH))_nH_2$, gewöhnlich als Rost bezeichnet. Rost kann sich schon bei geringen Mengen an Feuchtigkeit bilden. Korrosion beginnt bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60%. Die Wahrscheinlichkeit zur Entstehung von Korrosion ist erhöht, wenn in der Luft Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff, Stickstoffdioxid, Salz, Asche, Russ und andere Verunreinigungen vorhanden sind.

WAS IST KORROSION?

Korrosionstypen

Gleichmässige Korrosion

Eine gleichmässige Stahlkorrosion ist die häufigste Korrosionsart und ist an ihrer rötlichen Farbe zu erkennen, die gleichmässig über die ausgesetzte Fläche des Verbindungselements verteilt ist. Wird keine Abhilfe geschaffen, können die betroffenen Teile dünner und brüchiger werden, bis die Verbindung möglicherweise versagt oder nicht mehr demontiert werden kann.

Prävention

- Teile vor Feuchtigkeit schützen
- Konstruktionen verwenden, an denen das Wasser abtropfen kann
- Für eine gute Lüftung sorgen, um ein besseres Trocknen zu ermöglichen
- Oberflächen sauber halten und Verschmutzungen vermeiden
- Fortlaufende Kondensation vermeiden
- Verbindungselemente mit Überzügen oder Beschichtungen schützen



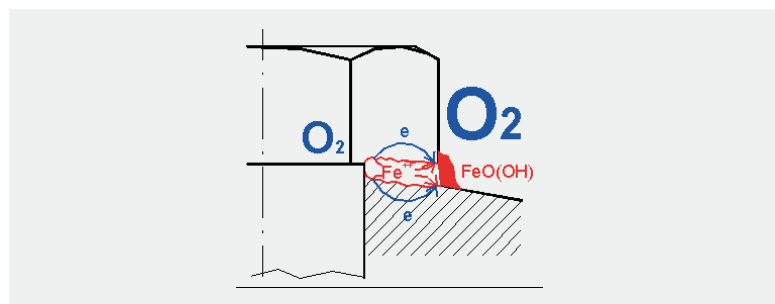
Spaltkorrosion

Kleine Öffnungen und Einschnitte neigen dazu, Feuchtigkeit anzuziehen und trocknen langsamer. Die Feuchtigkeit in einem Spalt verliert schnell an Sauerstoff und löst eine anodische Korrosion aus, wie im Wassertropfen-Modell beschrieben. Bei Verbindungselementen vermehrt sich das Risiko einer Spaltkorrosion mit der Anzahl an Verbindungsflächen.

Austenitische Edelstahl-Verbindungen sind ebenfalls anfällig für Spaltkorrosion, vor allem bei Einsatz in Umgebungen, in denen sich Chlorionen im Wasser befinden.

Prävention

- Verwendung von Unterlegscheiben auf ein Minimum reduzieren und geflanschte Produkte verwenden
- Verbindungsschnittstellen so glatt wie möglich machen



Galvanic corrosion

Die Verbindung zweier unähnlicher Metalle in einer feuchten Umgebung erzeugt ein elektrochemisches Potenzial, das zu Korrosion führt. Bei dieser galvanischen Reaktion fließt Strom vom weniger edlen, anodischen Metall zum edleren, kathodischen Metall, was die Auflösung des weniger edlen Metalls zur Folge hat.

Wasser, pH 6.0	Meerwasser, pH 7.5	
Silber	Silber	edler (Kathode) ↑ weniger edel (Anode)
Kupfer	Nickel	
Nickel	Kupfer	
Edelstahl A2	Edelstahl A2	
Aluminium		
Zinn	Stahl	
Blei	Cadmium	
Stahl	Aluminium	
Cadmium	Zink	
Zink	Zinn	

Elektrochemische Potenziale von Metallen

Die Dichte des Korrosionsstroms ist direkt proportional zur Metallauflösung. Im unten gezeigten Fall wird eine weniger edle, verzinkte Schraube für die Befestigung einer Kupferplatte verwendet. Die kleine Oberfläche des Zinks im Vergleich zur sehr viel grösseren Kupferfläche erzeugt eine hohe Stromdichte. Wenn nun Feuchtigkeit hinzukommt, verursacht dies eine besonders schnelle Auflösung des Zinks.

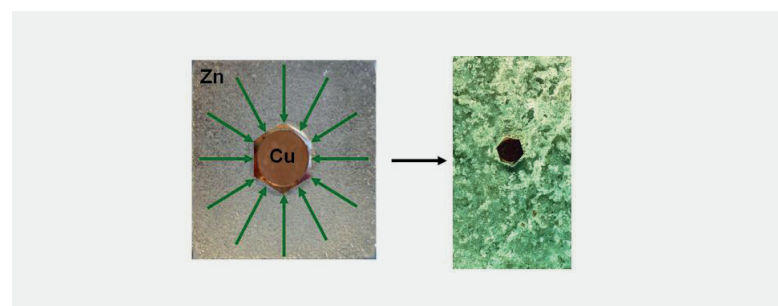
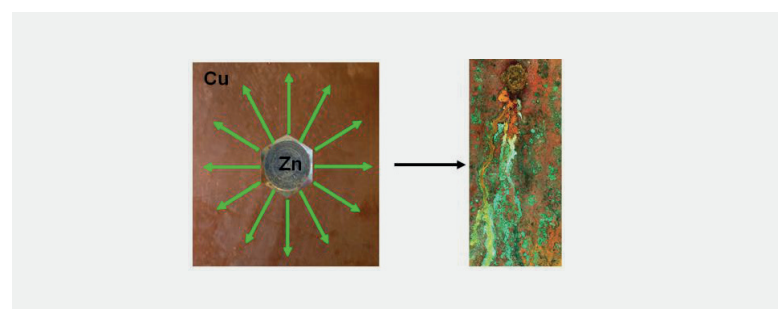
Wenn wir die Elemente umkehren und ein grosses, verzinktes Stahlstück mit einem Verbindungselement aus Kupfer befestigen, ist die Stromdichte sehr gering und der Korrosionsprozess zwischen beiden sehr viel ausgeglichener.

Prävention

- Das Material bzw. der Oberflächenschutz der Verbindungselemente sollte genauso edel oder edler als die Verbindungselemente selbst sein.
- Für Verbindungen, bei denen die Klemmlast nicht von entscheidender Bedeutung ist, können isolierende Unterlegscheiben aus Kunststoff verwendet werden.
- Edelstahl- oder Kupferteile sollten niemals mit verzinkten Verbindungselementen verbunden werden.



Verzinkte Mutter auf Bronze-Flansch

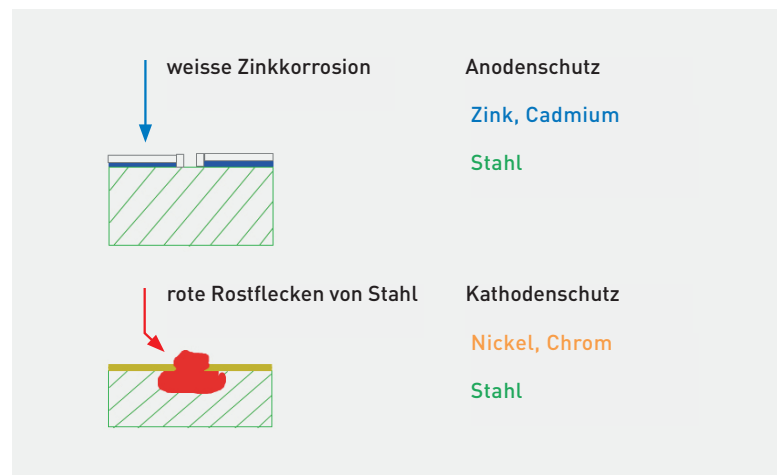
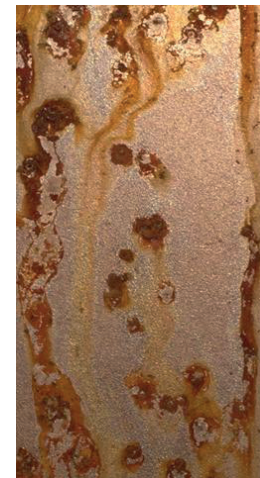


Lochfrasskorrosion

Bei Metallen, deren Oberflächen mit einem sehr edlen Metall wie z. B. Nickel oder Chrom überzogen sind, kann es zur Lochfrasskorrosion kommen. Im unten angeführten Beispiel waren auf dem vernickelten Stahl unsichtbare Poren vorhanden, wodurch Wasser bis zum Grundmetall durchdringen konnte. Dies führte zu Spaltkorrosion unter der Oberfläche, wodurch kleine Punkte oder Löcher durch die Poren sichtbar wurden.

Auch Edelstahl und Aluminiumlegierungen können von Lochfrasskorrosion betroffen sein. Metalle dieser Art verfügen über eine passive Chromoxidschicht auf der Oberfläche, welche sie bei normalen Umgebungsbedingungen vor Korrosion schützt. Wenn diese Passivschicht beschädigt wird, sei es auf mechanische Weise oder durch ein chloridionenhaltiges Lösungsmittel, kann es zu Lochfrasskorrosion kommen.

Die freiliegende Fläche wird weniger edel als die viel grössere passive Fläche und es kommt zu einer Stromdichte, die auf der lokalisierten Fläche bzw. den Vertiefungen zu galvanischer Korrosion führt. Wenn Sauerstoff auf die aktive Fläche trifft, kann dies zu einer Repassivierung führen, jedoch können Schmutz, Salzablagerungen und Chlorrückstände den Sauerstoffzugang behindern, wodurch die Rückbildung der passiven Schicht erschwert wird.



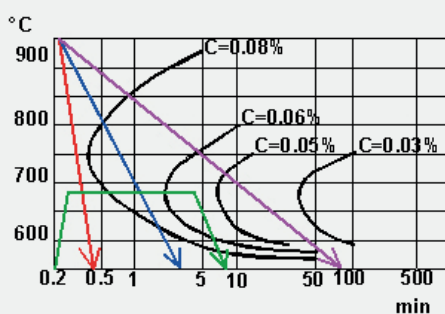
Prävention

- Sprechen Sie mit Ihrem Verzinker über Folgebehandlungen, z. B. mit Castrol Entwässerungsflüssigkeit (DW924) zur Füllung der Poren.
- Oberflächen sauber und glatt halten.
- Vermeiden Sie feste oder flüssige Rückstände, vor allem Chlor – waschen bzw. spülen Sie ausgesetzte Teile ab.
- Verwenden Sie in Umgebungen, die Chlor ausgesetzt sind, molybdänhaltigen A4 oder 316er Edelstahl.

Interkristalline Korrosion

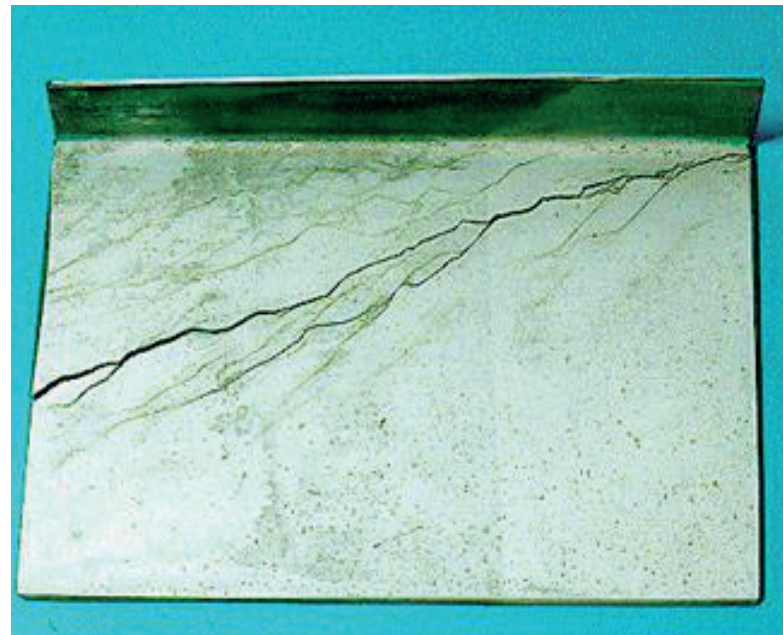
Auf austenitischem Edelstahl (Cr Ni) kann interkristalline Korrosion entstehen, wenn dieser zur Warmformung oder zum Schweißen auf hohe Temperaturen erhitzt wird. Nach der Erhitzung (600–900°C) und anschließenden langsamen Abkühlung kann sich der Kohlenstoff mit Chrom zu Chromcarbid verbinden. Die Carbidbildung vermindert den für die Korrosionsbeständigkeit des Stahls notwendigen Chromgehalt. Wenn der Chromgehalt unter 12% fällt, kann es vor allem an den Korngrenzen zu Korrosion kommen.

Höherer Kohlenstoffgehalt im Edelstahl und langsamere Abkühlraten führen zur vermehrten Entstehung von Carbiden. Der folgende Graph zeigt die Abkühlzeit ab verschiedenen Temperaturniveaus in Minuten. Insofern die Stahltemperatur und die Dauer der Wärmeeinwirkung auf der linken Seite der Kurve bleiben, kommt es nicht zur interkristallinen Korrosion.



Prävention

- Verwenden Sie bei der Warmformung bzw. beim Schweißen Edelstahl mit einem Kohlenstoffgehalt unter 0,05%.
- Schrecken Sie die Teile nach dem Erhitzen sofort in Wasser ab.
- Edelstahl mit einem Kohlenstoffgehalt über 0,05%, der hohen Temperaturen ausgesetzt werden soll, kann durch das Hinzufügen von Titan, Niob oder Tantal (A3- und A5-Stahl) stabilisiert werden.



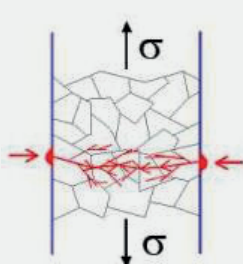
Spannungskorrosion

Spannungsrissskorrosion kann entstehen, wenn Verbindungselemente Zugspannungen ausgesetzt werden. Üblicherweise beginnen Defekte dieser Art mit Lochfrasskorrosion.

Im Falle von austenitischem Edelstahl, auf dem es in salzwasserhaltiger Umgebung zu Lochfrasskorrosion gekommen ist, beschleunigt sich die Korrosion perpendicular zur Spannungsrichtung und es kommt zur Rissbildung. Durch die stattfindenden Reaktionen werden an der Basis des Risses kontinuierlich roter Rost und Chlorwasserstoffsäure gebildet. Der Säureangriff verhindert die Repassivierung, wodurch der Korrosionsprozess andauert und der Riss tiefer und tiefer wird, bis das Metall zu Bruch geht.



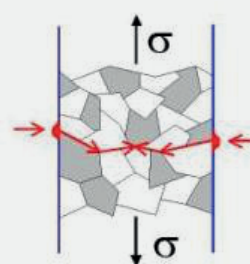
Zu Spannungsrissskorrosion kann es auch bei unlegiertem bzw. niedriglegiertem Stahl kommen. Der entstandene Riss ist von interkristalliner Natur, während Risse in austenitischem Edelstahl transkristallin sind.



Transkristalline
Spannungskorrosion:

Der sich ausdehnende Riss verläuft durch die Körner und kann sich verzweigen.

Diese Rissbildung betrifft austenische CrNi-Stähle.



Interkristalline
Spannungskorrosion:

Der Riss bildet sich entlang der Oberflächen der Metallkörner, d. h. entlang der Korngrenzen.

Der interkristalline Rissverlauf kommt häufiger bei unlegierten und niedriglegierten Stählen vor.

Prävention

- Halten Sie die Präventionsrichtlinien für Lochfrasskorrosion ein, vor allem bei Verbindungselementen, die hohen Spannungen ausgesetzt sind.
- Untersuchen Sie sicherheitskritische Elemente regelmässig auf Anzeichen von Korrosion.
- Ziehen Sie das Feuerverzinken sicherheitskritischer Elemente in Betracht, wodurch Korrosionen erkennbar werden.
- Versichern Sie sich, dass sicherheitskritische Verbindungselemente für Wartungsarbeiten und Austausch Zwecke leicht zugänglich sind.

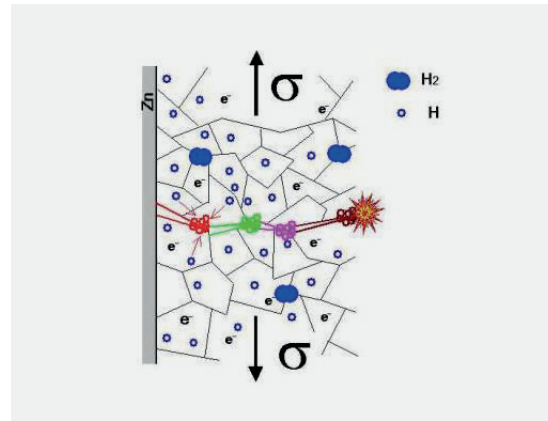
Wasserstoffversprödung

Durch Säurereinigung oder Galvanisierung kann Wasserstoff in Stahl eindringen. Während der Verarbeitung entweicht der grösste Teil des Wasserstoffs in der Form von Gas, aber einige Teile diffundieren in atomischer Form in das Metall. Wasserstoffatome bleiben im Korngefüge des Metalls höchst beweglich und tendieren dazu, zu Bereichen von hoher Spannung zu migrieren.

Wenn Verbindungselemente von hoher Festigkeit (Härte > 320 HV) Spannungen ausgesetzt werden, können kleine Oberflächendefekte wie Kratzer oder Einschlüsse entstehen, die sich zu sehr kleinen Rissen ausweiten. Wenn nun Wasserstoff im Stahl enthalten ist, werden die Atome durch die Zugspannung an der Spitze des Risses angezogen und bilden dort eine „Wasserstoffatomhülle“. Der Wasserstoff schwächt die Feinstruktur des Metalls und der Riss kann wachsen und schliesslich zum Versagen des Elements führen.

Wasserstoffversprödung ist immer ein verzögert auftretendes Versagen, das nicht zum Zeitpunkt der Montage entsteht, sondern erst Stunden oder gar Wochen später. In der Regel treten die Fehler innerhalb von 24 bis 48 Stunden nach Montage auf. Am anfälligsten sind hierfür Gewindeverbindungen von metrischer Festigkeitsklasse 10,9 oder höher bzw. Imperialgrad 8 oder höher. Ausserdem anfällig sind einsatzgehärtete Gewindestücke wie Gewindefurchschrauben oder Kerbschrauben und alle Elemente aus Federstahl, wie Sicherungsscheiben und -ringe.

Galvanisierte Elemente von hoher Festigkeit können innerhalb von vier Stunden nach ihrer Galvanisierung bei 200–230°C mindestens vier Stunden gebrannt werden, um den Wasserstoff auszutreiben. Obwohl dieses Verfahren höchst empfehlenswert ist und auch häufig angewandt wird, stellt es keine Garantie dafür dar, dass das Risiko völlig ausgeschaltet werden konnte. Das beste Verfahren ist natürlich, dafür zu sorgen, dass erst gar kein Wasserstoff eindringt. Bei Verbindungselementen von hoher Festigkeit sollten Beschichtungen in Betracht gezogen werden, bei denen kein Wasserstoff gebildet wird.



Die Wasserstoffversprödung wird von drei Ursachen bestimmt:

1. Anfälliges Material – Stahl von einer Härte über 320 HV oder einem Zugwiderstand von über 1000N/mm².
2. Ein Verfahren, durch das Wasserstoff in das Metall eingeführt wird.
3. Anhaltende Zugspannung.

Wenn eine dieser drei Bedingungen aus der Gleichung entfernt wird, kommt es nicht zur Wasserstoffversprödung. Das bedeutet, dass Bolzen von Festigkeitsklassen 8,8 bzw. Grad 5, genauso wie Verbindungselemente, die nicht mit Beschichtungen ausgestattet sind, die Wasserstoff einführen, keinem Risiko ausgesetzt sind.

Es ist ausserdem erwähnenswert, dass auch durch Korrosion Wasserstoff produziert wird, daher sollten Verbindungselemente von hoher Festigkeit ebenfalls vor Korrosion geschützt werden. Verzögertes Versagen, das Wochen oder Monate nach der Montage auftritt, wird üblicherweise durch korrosionsbedingte Wasserstoffinduktion verursacht, und nicht durch Wasserstoffzufuhr während der Verarbeitung.

Prävention

- Verbindungselemente von hoher Festigkeit mit einer Härte über 320 HV oder einem Zugwiderstand von über 1000N/mm² nicht galvanisieren oder säurereinigen.
- Wenn eine Galvanisierung unabdingbar ist, versichern Sie sich, dass die Elemente so sauber wie möglich sind, um die für die Säurereinigung nötige Zeit zu minimieren und führen Sie die oben beschriebene Wärmebehandlung durch.

WAS IST KORROSION?

Zusammenfassung

Denken Sie bei der Entwicklung und Konstruktion daran, dass Verbindungselemente ein integraler Bestandteil der gesamten Montage sind und diese nicht als separate Elemente behandelt werden dürfen. Verbindungselemente müssen immer genauso gut oder besser sein, als die von ihnen zusammengehaltenen Gegenstücke. Indem Sie die verschiedenen Korrosionstypen und Präventionsmassnahmen verstehen und die folgenden Regeln einhalten, sind Ihnen langlebige Verbindungen gewiss.

1. Verbindungselemente sollten immer so gut oder noch besser sein, als die zu verbindenden Teile.
2. Verbindungselemente sollten niemals zu Schwachstellen werden.
3. Versichern Sie sich stets, dass alle Verbindungen, vor allem kritische, gut zugänglich für Wartungsarbeiten und einen eventuellen Austausch sind.



Wenn Sie noch Fragen zum Thema Korrosion haben,
können Sie sich jederzeit direkt an uns wenden. Wir
sind Ihnen gerne behilflich. Kontaktieren Sie uns unter:
www.bossard.com.