



Korrosion verstehen und vermeiden

Korrosion verstehen und vermeiden

Teil 1: Was Korrosion ist und wie sie abläuft

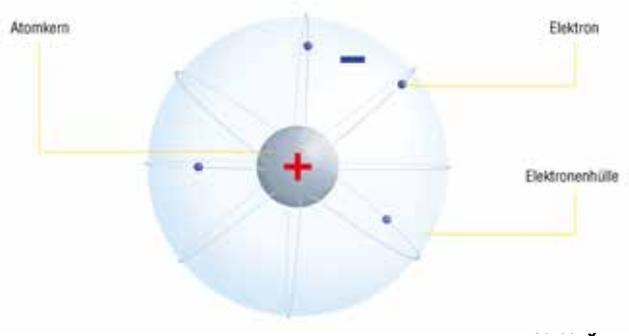
Teil 2: Korrosion, Schutz und Dämmung: Auf die richtigen Kombinationen kommt es an

Wer mit Dämmstoffen arbeitet, muss viele Dinge beachten, die nicht unbedingt zum Kerngeschäft gehören und/oder die man in der Ausbildung nicht lernt: Korrosion ist aufgrund möglicher Schäden und Folgeschäden eines der wichtigsten davon. Wer weiß, was Korrosion ist und wie sie entsteht, der kann auch vorbeugende Maßnahmen dagegen treffen, um die gefürchtete Korrosion unter Dämmung (CUI, corrosion under insulation) zu vermeiden. Diese technische Information soll eine verständliche Einführung zum Thema geben. Im ersten Teil geht es um die Korrosion selbst, ihre Arten und Ausprägungen. Der zweite Teil betrachtet mögliche Schutz- und Vermeidungsstrategien und die Wechselwirkung Dämmung-Installation.

1. Wie beginnt Korrosion?

Rost ist keine Korrosion, Rost ist die Folge davon: Wenn auf einer eisenmetallischen Oberfläche Rost auftaucht, dann hat schon lange vorher ein chemischer Prozess begonnen, der das Metall verändert. Alle Metalle und ihre Legierungen – so unterschiedlich sie auch sein mögen – sind grundsätzlich gleich aufgebaut: Metalle bestehen aus unzähligen Atomen, welche wir uns als Kugeln vorstellen können, die sehr regelmäßig angeordnet sind (in einem sogenannten „Metallgitter“). Eine solche Kugel besitzt einen „harten“ Kern, der

eine Plus-Ladung hat, und eine „weiche“ Hülle, welche eine Minus-Ladung hat, korrekter: Einen positiv geladenen Atomkern und eine negativ geladene Elektronenhülle (Abb. 1).



Die Elektronen, welche diese Hülle bilden, können wir uns als winzige Kügelchen vorstellen, welche um den Kern kreisen wie Planeten um die Sonne – allerdings mit Lichtgeschwindigkeit. Plus- und Minusladung halten sich gegenseitig im Gleichgewicht, deshalb bleiben die Elektronen in der Hülle. Wenn wir jetzt mehrere Metall-Atome miteinander verbinden, also die Kugeln regelmäßig neben- oder übereinander packen, geschieht etwas Merkwürdiges: Die Elektronen bleiben nicht mehr in ihren Bahnen, sondern bewegen sich im Zwischenraum der Atomkerne frei herum. Dabei sind sie derart „verwischt“, dass man sie als Elektronengas bezeichnet: Man kann sie nicht mehr einzelnen Kernen zuordnen, sondern nur noch dem gesamten Atomhaufen. In einem Metall ist also das Elektronengas der negativ geladene „Binder“, der die positiven Atomkerne zusammenhält. Wird der Binder oder das Gleichgewicht Bindemittel-Kerne gestört, dann wird der Metallverbund geschwächt. Genau so beginnt Korrosion.

2. Arten der Korrosion

Die DIN EN ISO 8044 kennt 36 (!) Arten von Korrosion. Zur Vereinfachung wird im Folgenden in zwei Kategorien unterteilt: Klassische Korrosion (meist Sauer- oder Wasserstoffkorrosion, äußert sich als Kontakt-, Flächen-, Mulden-, Spaltkorrosion oder als Lochfraß) ist bekannter und häufiger, Risskorrosion ist seltener, aber tückisch. Beide beginnen im Verborgenen, auf der atomaren Ebene, schreiten aber anders fort. Die Normdefinition lautet: „Korrosion ist die Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffs bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines mechanischen Bauteiles oder eines ganzen Systems führen kann. In den meisten Fällen ist diese Reaktion elektrochemischer Natur, in einigen Fällen kann sie jedoch auch chemischer oder metallphysikalischer Natur sein.“

2.1 Klassische Korrosion

2.1.1 Grundlage: Das Chemische Element

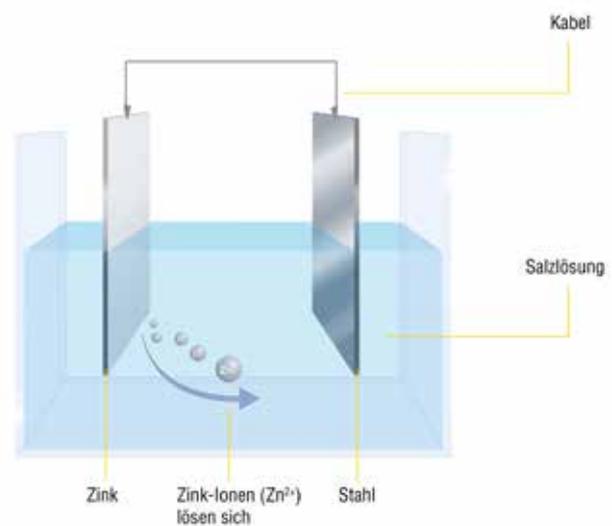
Es ist bekannt, dass bei Korrosion bzw. Rostbildung Wasser oder zumindest Feuchtigkeit im Spiel sein muss. Ebenso, dass die Verbindung verschieden „edler“ Metalle kritisch sein kann. Damit sind die Voraussetzungen für klassische Korrosion schon definiert:

- man braucht etwas Unedleres (die Anode oder Minuspol),
- etwas Edleres (die Kathode oder Pluspol) im direkten Kontakt (Kontaktkorrosion) oder (zumindest zeitweise) irgendwie elektrisch leitend verbunden,
- sowie eine wässrige, dadurch ebenfalls elektrisch leitende Verbindung zwischen beiden (der Elektrolyt).

Diese Kombination ergibt ein „Elektrochemisches Element“ (auch: Galvanisches Element), d.h., eine Konstruktion, in der elektrische Ströme fließen können, und zwar dadurch, dass Elektronen von der Anode zur Kathode wandern. Die Anode – das unedlere Metall – verliert dadurch Elektronen, erleidet also eine Verdünnung ihres Elektronengases und verliert an

innerem Zusammenhalt. Metall-Atome an der Oberfläche des Metalls wandeln sich in Ionen um (positiv geladen, da Elektronen fehlen und die positive Ladung des Atomkerns jetzt überwiegt) und lösen sich, bilden Salze, führen zu Abblättern etc.

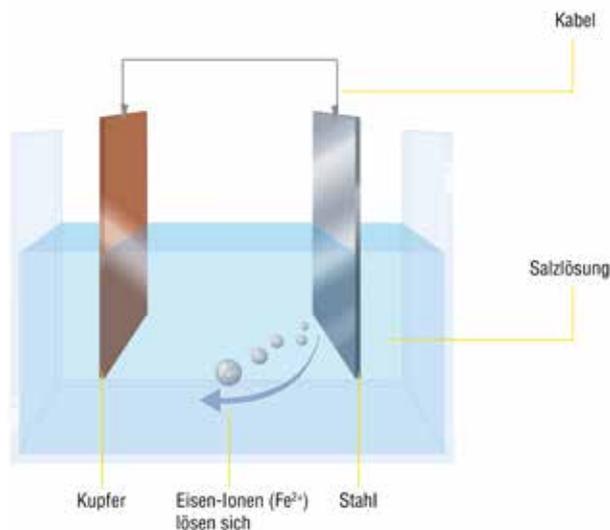
Man kann solche Vorgänge recht einfach demonstrieren, indem man ein (unedleres) Zinkblech und ein (edleres) Stahlblech mit Kontakt zueinander in eine Salzlösung stellt (Abb. 2); normalerweise würde Stahl in derart aggressiver Umgebung schnell rosten, aber: Das Zink baut sich ab, der Stahl bleibt blank.



Das Zink agiert als „Opferanode“, schützt also den Stahl vor Korrosion, indem es ihn zur Kathode macht (in der Heizungstechnik nimmt man Opferanoden z.B. zum Schutz von Kesseln und Speichern; verzinkte Behälter schützt man mit Magnesium-Anoden, da Magnesium noch unedler ist als Zink). Galvanisch verzinkter Stahl ist also nicht nur durch die passivierte Zinkschicht geschützt (s.u.), selbst im Falle einer Verletzung des Zinkmantels hat er seine Opferanode quasi dabei. Aber natürlich nur so lange, wie noch eine Zink-Opferschicht da ist. Kathodischer Korrosionsschutz lässt sich auch im Großmaßstab erzielen, d.h., eine ganze Anlage wird elektrotechnisch (Fremdstromanode, Opferelektrode) aufgeladen. Bei Schiffen oder Offshore-Anlagen wird mit am Baukörper verteilten Opferanoden gearbeitet.

2.1.2 Passivierung

Ersetzt man nun das Zink- durch ein Kupferblech (welches edler als Stahl ist), so stellt man beschleunigtes Rosten des Stahls fest, da er nun zur Anode wird (Abb. 3).



Der Prozess verlangsamt sich aber mit der Zeit, da das Kupfer in der Salzlösung matt und dunkel anläuft und als Kathode an Wirkung verliert: es passiviert sich durch eine chemische Reaktion mit Bestandteilen des Elektrolyten oder der Luft (im Fall von Kupfer Sauerstoff und Kohlendioxid). Diese Passivierung des Kupfers geschieht ohne den Kontakt zum Stahl noch schneller, da dessen Opferanoden-Funktion fehlt. Passivierung ist also auch ein Korrosionsvorgang, aber kein fortschreitender; die Passivschicht ist sehr dünn (bei Eisenmetallen) und noch elektrisch leitend bis relativ dick (bei Kupfer) und nicht mehr elektronisch aktiv (sie ist kein leitfähiges Metall mehr, sondern eine anorganische Verbindung), und kann das Metall irgendwann so stark abschirmen, dass das elektrochemische Element erlischt. Die Endstufe bei Kupfer oder Bronze ist die grüne Patina (fälschlich „Grünspan“, s.u.), aber auch bei Stählen gibt es einige, die sich stark passivieren können (Cor-Ten-Stahl, fälschlich „Edelrost“).

sind fest mit dem Metall verbunden und können mechanisch nur mit drastischen Mitteln (Strahlen, Schmirgeln, Ätzen) entfernt werden, Rost oder Grünspan dagegen sind chemisch ganz anders zusammengesetzt, blättern ab und sorgen so für ein Weiterschreiten von Metallschäden. Wo eine Patina vorhanden ist, greifen Phänomene wie Rost, Grünspan, Metallpest und Korrosion insgesamt wenig bis gar nicht. Patinieren oder Eloxieren (bzw. „Anlaufen“) ist deshalb auch eine Methode, um den Korrosionsschutz zu verbessern. Allerdings mit Einschränkungen: Durch Passivierung können zwar eigentlich unedle Metalle zuverlässig in kritischen Umgebungen eingesetzt werden, wie etwa Aluminium (welches von selbst an Luft matt anläuft oder technisch eloxiert werden kann, in beiden Fällen bilden sich mit Luftsauerstoff stabile Passivschichten) oder Zink (Sauerstoff- und Kohlendioxidpassiviert). Bringt man aber das unedle passivierte mit einem signifikant edleren Metall und/oder einem starken Elektrolyten in einem elektrochemischen Element zusammen, so kann unter Umständen die Passivschicht und darauf folgend das unedlere Metall abgebaut werden. Kupfer und Aluminium sollte man etwa nur verbinden, wenn man den dritten Teil des galvanischen Elements, den Elektrolyten, ausschließt, z.B. eine Kupferniete in Alu inklusive der Kontaktfläche zwischen beiden Metallen überlackiert (Abb. 4).

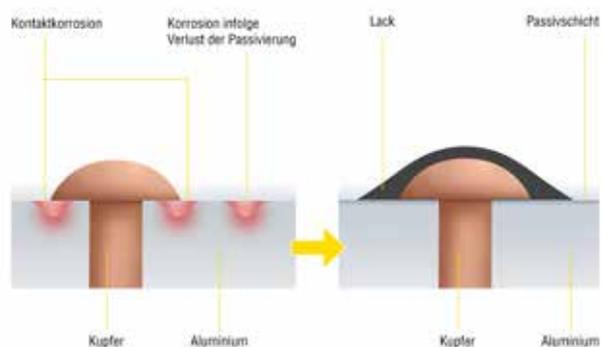


Abbildung 4

Eine Zink- an eine Kupferdachrinne anzuschließen, sollte man nicht nur aus optischen Gründen tunlichst unterlassen...

2.1.3 Sauerstoff- und Wasserstoffkorrosion

Dass saure Umgebung oder direkte Säureeinwirkung das Rosten von Eisen stark beschleunigen, ist bekannt: Die Säure erhöht erstens die elektrische Leitfähigkeit und damit die Wirkung des Elektrolyten und sorgt zweitens für eine Aufnahme der von der Anode abgegebenen Elektronen (und drittens ätzt sie eventuell Passivschichten weg). Ist wenig oder kein Sauerstoff im Chemischen Element vorhanden, dann entsteht Wasserstoff (daher Wasserstoffkorrosion), Säure kann also auch unter Luftabschluss korrosiv wirken. Alkalischer Korrosionsschutz macht also unter diesen Bedingungen Sinn, z.B. im Wasser- und Erdverbau.

Wird der bei der Säurekorrosion entstehende Wasserstoff nicht schnell genug abgeleitet, kann er sich ins Metallgitter (bevorzugt an Korngrenzen, s.u.) einlagern oder mit den Metallatomen reagieren, z.B. bei nicht-austenitischen Stählen und Kupfer. Die Folge sind Materialermüdungen, die sich in Rissen auswirken, der Wasserstoffversprödung (HIC, hydrogen induced cracks, wasserstoffinduzierte Risskorrosion). Diese ist kein eigentliches Korrosionsphänomen, aber deren unmittelbare Folge und vom Mechanismus her mit der Spannungsrisskorrosion (s.u.) verwandt; da der Wasserstoff an der Kathode des Chemischen Elements entstanden ist, nennt man sie auch kathodische Spannungsrisskorrosion.

Sauerstoffkorrosion benötigt Luftzutritt und läuft meist in neutraler (Wasser) oder basischer (Laugen) Umgebung ab. Saure Sauerstoffkorrosion ist aber je nach Zusammensetzung des Chemischen Elements auch denkbar, sie steht dann mit einer basischen Parallelreaktion in Verbindung: Rosten von Eisen ist ein solch komplexer Prozess, in dem Sauer- und Wasserstoffkorrosion in wechselndem Milieu ablaufen. Die Sauerstoffkorrosion ist die bei weitem häufigste Form, auch die meisten Passivierungsvorgänge fallen darunter. Sie kann durch Feuchte- und/oder Sauerstoffausschluss unterdrückt werden, also z.B. durch (diffusions)dichte Schutzanstriche.

2.1.4 Sondertypen

Manchmal braucht man nicht drei, sondern scheinbar nur zwei Bestandteile, um ein elektrochemisches Element zu bilden: Viele Metalle korrodieren ja schon ohne Kontakt zu einem edleren Partner, einfach nur an (feuchter) Luft. Entweder sind es unedle und nicht passivierende Metalle (wie Eisen), die leicht oxidieren, oder es liegen Konzentrationsunterschiede im Elektrolyten vor: Der Metallteil an der höheren Konzentration spielt dann Anode, baut also ab (Metall-Ionen gehen in Lösung), während der Metallteil an der niedrigeren Konzentration als Kathode fungiert, wo sich dann wieder Metall, allerdings in schwachem Verbund, abscheidet (Abb. 5).

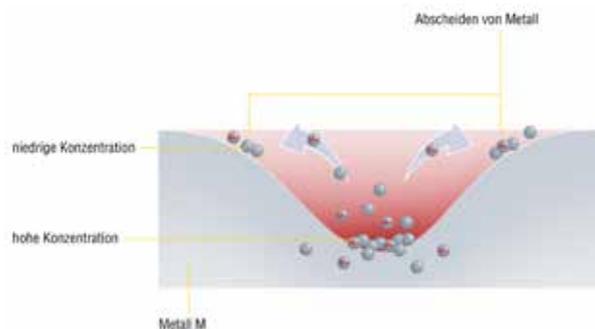


Abbildung 5

Diese Selbstkorrosion durch Bildung eines Konzentrationselements tritt z.B. in feuchten oder flüssigkeitsgefüllten Spalten auf, da hier fast immer Konzentrationsunterschiede vorliegen (Spaltkorrosion), und auch, wenn lokal Salze oder Säuren auf der (feuchten) Metalloberfläche zu finden sind.

Bei Vorhandensein eines Konzentrationselements können sowohl Wasser- als auch Sauerstoffkorrosion ablaufen, in einem Spalt z.B. Wasserstoffkorrosion, da wenig Luftzutritt, an dessen Rand dann Sauerstoffkorrosion. Auch deshalb sind Halogene (Chloride, Bromide) und Sulfate in vielen Spezifikationen begrenzt oder sogar verboten: Sie sind effiziente Elektrolyte, erzeugen Konzentrationsgefälle und sind meist auch noch sauer. Unter bestimmten Umständen sind sie auch in der Lage, Passivschichten anzugreifen und Lochfraß zu begünstigen (s.u.).

2.1.5 Optische Ausprägungen klassischer Korrosion

Farbänderungen können, müssen aber kein Hinweis auf Korrosion sein, im oben gezeigten Fall von Kupfer ist Verfärbung und Mattwerden ebenso ein Zeichen von Passivierung. Bei Eisenmetallen allerdings ist die Lage eindeutiger: Alles Rötliche ist verdächtig, bei Edelstahl auch dunkle Stellen mit rötlichem oder braunem Aspekt. Das macht das Erkennen von Korrosion einfacher, allerdings sind dann sofort Gegenmaßnahmen fällig, da gerade bei Eisenmetallen ein rasches Fortschreiten zu erwarten ist.

Die harmloseste Ausprägung ist die Flächenkorrosion: Sie tritt großflächig auf, dringt aber nicht tief in das Metall ein. Typisch für die Flächenkorrosion ist, dass der gerade korrodierende Bereich über die Oberfläche wandert, also Teilflächen mal Anode, mal Kathode spielen. Erst wenn die gesamte Oberfläche durchkorrodiert oder ein Wandern der Anoden-/Kathodenbereiche behindert ist (z.B. an Flanschen, Armaturen, Übergängen), verlagert sich die Korrosion nach Innen und wird zur Muldenkorrosion. Insgesamt ist der Materialverlust aber auch hier recht gering. Leckagen durch Muldenkorrosion treten eigentlich nur dann auf, wenn die Gesamtinstallation grundsätzlich falsch geplant und/oder ausgeführt wurde. Eine Mulde, die zum Loch wird, ist kein Lochfraß (s.u.), sondern die Folge massiver lokaler Schädigung.

Die echte Lochfraßkorrosion (Pitting) ist zu Recht gefürchtet. Sie betrifft nur passivierte Metalle, also kein Eisen, aber entsprechende Stähle, Aluminium usw. Halogene, genauer gesagt Halogenid-Ionen (und auch hier wiederum nur die wasserlöslichen) und Sulfide können in Passivschichten, die durch Sauerstoff-Oxidation aufgebaut wurden, den Sauerstoff ersetzen. In der Nachbarschaft einer bereits ersetzten Position lagern sich weitere Halogenide oder Sulfide bevorzugt an und zerstören damit die Passivschicht an einer kleinen Stelle (Abb. 6).

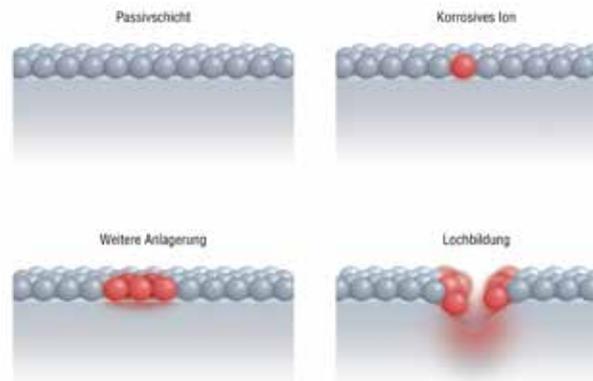


Abbildung 6

In diesen „Lochkeim“ kann Sauerstoff schlecht eindringen und daher kaum mehr repassivierend wirken. Feuchtigkeit aber tritt ein und es entsteht ein Konzentrationselement, wie wir es oben kennengelernt hatten: am Rand des Lochs ist wenig Sauerstoff aber viel Halogenid/Sulfid vorhanden, im Loch dagegen kein Sauerstoff und kaum Halogenid/Sulfid. Es besteht also auf jeden Fall ein Konzentrationsunterschied, der zu Korrosion führt. Besonders perfide: Die gesamte Oberfläche des Metalls bildet ja die Kathode, nur der kleine Rand des Lochs agiert als Anode. Da aber die Kathode die Anode „frisst“ (korrekt: die Korrosionsgeschwindigkeit mit steigendem Flächenverhältnis Kathode / Anode zunimmt), wird das Loch schnell größer und vor allem: tiefer. Unter einem Lochkeim kann sich eine regelrechte Höhlung verbergen. Lochfraß kann von innen genauso wie von außen auftreten, z.B. bei chloridhaltigem Wasser in Leitungen aus austenitischem Stahl, an Kupferrohren bei sulfathaltigem Wasser, bei aggressiver Umgebung (chlor- oder salzhaltige, feuchte Luft, Schwefelwasserstoff-/Sulfid-Spuren z.B. aus Erdgas, Landwirtschaft, Industrie) usw..

Leckagen in Folge von klassischer Korrosion sind selten spontan und großflächig, sondern treten allmählich und lokal auf. Im Gegensatz zu den Risskorrosionen (s.u.) kann man auch an geschädigten Installationen noch Reparaturen mit guter Erfolgswahrscheinlichkeit versuchen, da klassische Korrosion (unter normalen Bedingungen und mit Ausnahme massiver Lochfraßphänomene) nur mit etwa 1 mm Wandstärke pro Jahr fortschreitet.

2.2 Rissskorrosion

Mulden oder Löcher sind sichtbare Zeichen klassischer Korrosion, welche sich von den Oberflächen ins Material vorarbeitet. Rissskorrosions-Phänomene spielen sich im Gegensatz dazu im Materialverbund selbst ab und werden erst dann sichtbar, – durch Risse, Leckagen bis hin zum Strukturversagen – wenn es schon zu spät ist. Dabei kann der Beginn der Schädigung Monate bis Jahre vor deren Sichtbarwerden liegen.

2.2.1 Inner- und Interkristalline Vorgänge

Wie wir am Anfang gesehen hatten, sind Metalle auf der atomaren Ebene gleich aufgebaut: Metallatome und das sie umgebende Elektronengas. Geht man eine Ebene höher, dann stellt man Unterschiede fest: Metalle bestehen aus Kristalliten, also kristallähnlichen, übergeordneten Strukturen, die je nach Metall oder Legierung unterschiedlich groß und geformt sind. Innerhalb eines Kristallits sind die Metallatome vollkommen homogen angeordnet, im nächsten Kristalliten wiederum für sich homogen, aber zum anderen Kristalliten etwas anders. Man kann sich das in etwa so vorstellen: Man nehme eine Schaumplatte mit vielen gleich großen runden Zellen (welche die Metallatome darstellen). Wenn man die Platte auseinanderschneidet und wieder zusammenklebt wie in Abb. 7, so hat man äußerlich wieder eine Schaumplatte, aber genau betrachtet besteht sie jetzt aus unterschiedlichen Bereichen, von denen jeder in sich homogen ist.

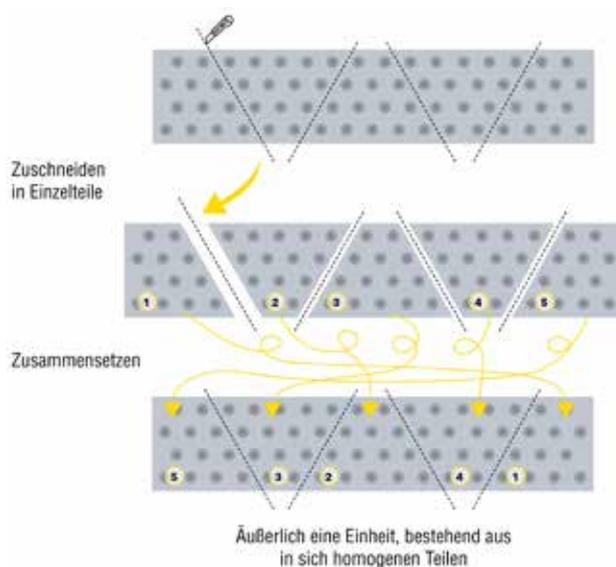


Abbildung 7

Kristallite oder Körner weisen Korngrenzen auf. Diese sind Übergänge zum nächsten Korn, wo es leichte Ungleichheiten im Elektronengas gibt, und daher prinzipiell Schwachstellen, an denen Korrosionsvorgänge angreifen können. Dies wäre interkristalline Korrosion (Kornzerfall). Aber auch innerhalb eines Kornes kann sich der Metallverbund auflösen, also innerkristalline oder transkristalline Korrosion ablaufen. Dort, wo Kristalliten besonders ausgeprägt sind, ist Kornzerfall immer in Betracht zu ziehen: Bei Legierungen.

2.2.2 Spannungsrisse

Spannungsrissskorrosion (SpRK, SCC stress crack corrosion) ist die Auflösung des inneren Metallverbunds (je nach Legierung mit mehr oder weniger Anteilen von inter- und transkristallinen Vorgängen) bei Vorhandensein von

- anfälligen Legierungen,
- Spannungen (Zug-, Biege-, Verformungsspannung, auch Eigenspannung) und
- spezifischen Korrosionsmedien, sowie
- warmen Temperaturen; unter +50 °C sind SpRK-Reaktionen sehr langsam oder unterbleiben. Rissbildung bei Kälteleitungen muss also i.d.R. andere Gründe haben.

Reine oder fast reine Metalle sind also gegenüber Spannungsrissskorrosion unempfindlich, bestimmte Kombinationen von Legierungen und korrosiven Stoffen dagegen sehr kritisch:

- Zink-Stickstoff/Ammonalkali. Zink in Legierungen, vor allem in jenen mit Kupfer (Messing, Rotguss, Bronze) ist empfindlich gegenüber Stickstoffverbindungen, vor allem Ammoniak und seine Abkömmlinge (Amine, Amide, Ammoniumverbindungen, Nitrit, Nitrat), ferner Stickoxide. Wird das Zink umgewandelt, geht der innere Zusammenhalt der Legierung verloren.
- Zink-Schwefel/SO₂. Ebenso können Schwefeldioxid und Schwefelverbindungen, welche Schwefeldioxid bilden oder enthalten, sowie teilweise auch Sulfide, das Zink in Legierungen angreifen.

- Austenitische Stähle-Halogenide. Halogenide, vor allem Chloride, können jene Legierungsbestandteile (Chrom, Molybdän) aus rostbeständigen Stählen verändern oder herauslösen, die die Passivierung sicherstellen. Die Chrom- bzw. Molybdänoxid-Schutzschicht wird durchlöchert, die Korrosion dringt zwischen und in die Kristallite ein.
- Niedrig oder nicht legierte Stähle und Alkalihydroxide (Natronlauge). Die aggressive Lauge verätzt Passivschichten und wandelt das Eisen selbst um – bevorzugt an den Kornübergängen.

Die SpRK beginnt zwar an Oberflächen, die wesentlichen Vorgänge spielen sich aber in tieferen Schichten ab. Meist ist bei NE-Legierungen der interkristalline Bruch mehr beteiligt, bei Stählen der transkristalline. Das typische Rissbild hilft, SpRK von rein mechanisch bedingten Spannungsrissen, Spaltkorrosion oder Lochfraß zu unterscheiden.

2.2.3 Schwingungsrisse

Bei der SpRK können Schwingungen, also Vibrationen der Bauteile, das Phänomen beschleunigen. Andererseits können Schwingungen auch Spannungen abbauen und bis zu einem gewissen Grad das SpRK-Risiko senken. Aber auch in spannungsfreien Installationen kann Risskorrosion auftreten, welche durch die Faktoren

- Temperatur und
- Bewegungen statt Spannungen, und teilweise
- kritische Legierungs-/Korrosionsmedien-Kombination

ausgelöst werden: Die Schwingungsrissskorrosion (CFC, corrosion fatigue cracks). CFC kann auch nichtlegierte, reine Metalle betreffen, wenn diese entsprechend mechanisch anfällig sind. Die Reaktion beginnt dann als Spaltkorrosion in Mikrorissen. Bewegte Teile wie Kolben, Ventile, Wellen, aber auch Installationen mit durch Motor- oder Strömungsbewegungen erzeugten Vibrationen aller Art sind gefährdet.

Der chemische Mechanismus der Schwingungsrissskorrosion ist mit dem der SpRK identisch. Allerdings tritt sie aufgrund

der mechanischen Belastungen der Materialien bei gleicher Exposition früher auf, und das Risiko für plötzliche Ausfälle ist erhöht. Meist ist der transkristalline Bruch dominierend.

2.2.4 Mischformen

Da die korrodierenden Medien, welche bei den Risskorrosionen beteiligt sind, auch ein Potential für klassische Korrosion besitzen, laufen in der Realität mehrere Vorgänge gleichzeitig oder abwechselnd ab. Da Lochfraß sehr ähnlich beginnt wie Risskorrosion, nämlich mit einem punktuellen Angriff auf die Passivschicht, sollte beim Vorliegen von Lochfraß in SpRK-verdächtigen Legierungen immer geprüft werden, ob sich am Grund des Lochs Spannungsrisse fortsetzen. Ebenso sollte bei Spaltkorrosion an bewegten Teilen immer auch tiefer gehende CFC in Betracht gezogen werden.

Wie zu Anfang erwähnt, ist ein Kontakt von Metallen mit stark unterschiedlich edlem Charakter (man spricht auch vom Redoxpotential) immer kritisch. Aber auch die Kombination von verschiedenen Metallen mit ähnlichem Redoxpotential kann erhebliche Risiken aufbauen. So enthalten Stähle fast immer Sulfide, welche im direkten Kontakt bei Kupferlegierungen zu Risskorrosion führen können. Überhaupt sind Stähle – in Kombination mit NE-Metallen oder auch schlicht anderen Stählen – in ihrem Korrosionsverhalten nicht zu unterschätzen: Eine Art Stahl kann zur anderen ein derart hohes Redoxpotential aufbauen, dass es diesen zur Anode macht, andererseits können hochlegierte Spezialstähle in einfachsten Anwendungen versagen, weil sie unter Standardbedingungen gegen geringste Spuren von Chemikalien anfällig sind.

2.2.5 Optische Ausprägungen klassischer Korrosion

Risskorrosion führt nicht zu Verfärbungen oder Mattierung. Oberflächenveränderungen können aber ein Hinweis auf allgemein ungünstige Bedingungen sein: Die meisten Stähle werden in Gegenwart von Halogeniden und Sulfiden matter und oft auch dunkler, Kupferlegierungen im Dauerkontakt mit Sulfid stumpf und fast schwarz. Erscheinen Risse – zuerst haarfein in Spannungsrichtung, dann sich rasch verbreiternd – so muss die betroffene Installation – ähnlich wie bei Lochfraß – ausgetauscht werden, da nicht abzuschätzen ist,

wie tief die Struktur geschädigt wurde: Der feine Riss an der äußeren Oberfläche kann sich trichterförmig nach innen verbreitern und bis zur inneren Oberfläche reichen. Auf jeden Fall verzweigt sich der Riss nach innen in die Breite, bei SCC stark, bei CFC weniger. Leckagen durch Risskorrosion treten daher spontan und massiv auf.

2.3 Nicht-metallische Korrosionsphänomene

Selbst Kunststoffe können korrodieren, wenn entsprechend ungünstige Bedingungen herrschen: In alkalischer Umgebung kann Spannungsrisskorrosion an Thermoplasten (PE, PP, PVC, also typische Rohrwerkstoffe) auftreten, weil sie kristalline Bereiche aufweisen, die ähnlich wie Kristallite angreifbar sind, und weil sie steif genug sind, um Spannungen zu halten. Elastomere (Gummi) bauen Spannungen ab und können daher nicht direkt korrodieren.

Wesentlich häufiger sind aber Schäden an Kunststoffen (Thermoplaste, Duromere und auch Elastomere) durch Kontakt mit korrodierenden Metallen: Wie oben gezeigt, entstehen durch Korrosion aus und mit dem Metall aggressive Substanzen (Metallionen, Metallhalogenide, -salze etc.), welche zu einem großen Teil löslich sind und auf die Oberfläche von Kunststoffen migrieren können, um dort zu reagieren. Diese „Metallseifen“ (weil sie „harte“ Metallionen enthalten und Kunststoffe in der Tat verseifen, also spalten können) sind in der Lage, Hart- und Weichkunststoffe und Elastomere ähnlich dem Schadensbild eines Mulden- oder Lochfraßes anzugreifen. In der Folge ist bei Thermoplasten auch Spannungsrisskorrosion möglich, Elastomere zeigen je nach angreifender Substanz und Umgebungsbedingungen Versprödung oder Erweichung. Im Extremfall werden Kunststoffe durch aggressive Nebenprodukte von Korrosion auch komplett aufgelöst.

3. Korrosion in der Praxis

3.1 Prägnante Beispiele für Korrosion

Korrosion ist überall, und natürlich denkt man bei dem Begriff zuerst an rostrote Leitungen, durchlöcherter Autokarosserien usw. Aber gerade die versteckte Korrosion kann enorme Auswirkungen haben: Quecksilber ist meistens an Bord von Flugzeugen verboten, denn geringste Spuren des edleren, aber flüssigen und deshalb hoch benetzenden Metalls bilden mit dem Flugzeugaluminium eine Verbindung (Aluminiumamalgam) und in der Folge ein elektrochemisches Element, welches zum kompletten Strukturversagen führen kann. Aber selbst sehr hochwertige, edle Legierungen sind nicht frei von Gefahren: Medizinische Implantate und Körperschmuck (Piercings) können durch Chloride und Amine im Blut oder Schweiß korrosiv geschädigt werden (analog zum Lochfraß) und ihrerseits schädliche Ionen (Nickel, Chrom) an den Körper abgeben.

3.2 Korrosion unter Dämmung

Korrosionsvorgänge unter thermischer oder akustischer Dämmung (CUI, corrosion under insulation) gehört zu den versteckten und daher besonders kritischen Schadensverläufen. Besonders gefährdet sind Kälte-, Tiefkälte- und Wechseltemperaturanlagen, also Installationen, welche im Betrieb dazu neigen, Luft(feuchtigkeit) durch die Dämmung zu ziehen („pumpen“).

Aus diesem Grund muss die Dämmung mehrere Ansprüche erfüllen, um CUI zu vermeiden:

- chemisch neutral, d.h. ein pH-Wert von um 7, um weder saure noch alkalische Korrosion zu begünstigen.
- keine Abgabe von kritischen Ionen (d.h., Chlorid, Sulfide etc. dürfen zwar enthalten sein, aber nicht in löslicher Form).
- Der Anwendung entsprechende Dampfsperrewirkung, um Feuchte Kondensation zu vermeiden.

Besonders beim letzten Punkt muss man genau auf die Dämmstoffe und ihre Kombinationen achten: Eine Dämmung, die Dampf komplett sperrt, gibt es nur in der Theorie! Zwar hat geschäumtes Glas einen Wasserdampfdiffusions-Sperrwert (my-Zahl) von unendlich, leider aber erfordert dieses Material sehr viele Fugen, und diese sind die Schwachstellen: Sie sind selbst nicht dampfdicht und neigen zu Schrumpf und Rissbildung, d.h. zur Bildung von Diffusionsbrücken. Faserdämmstoffe (z.B. Mineral- und Glaswolle) sind fast vollständig diffusionsoffen und selbst durchnässungsgefährdet, ebenso wie Harz-basierte Schäume, welche entweder offenzellig, also diffusionsoffenen, und/oder hydrophilen, also wasseraufnehmenden Charakter haben.

3.3 Dämmungen für korrosionskritische Installationen

Die Bezeichnung „Dampfsperre“ oder „Dampfsperrefolie“ für thermoplastische Werkstoffe ist grundlegend falsch: Wie diffusionsticht ein Werkstoff in der Theorie ist, wird zwar durch die my-Zahl bestimmt (je höher, desto dichter), aber die reale Dampfsperrewirkung ist die sogenannte diffusionsäquivalente Luftschichtdicke, der SD-Wert: Dieser ist my des Werkstoffs multipliziert mit der Dicke des Werkstoffs und wird in Metern angegeben. Eine PE- oder PET-Folie, die als „Dampfsperre“ beworben wird, hat eine Dicke von vielleicht 100 Mikron, also 0,1 mm oder 0,0001 Meter. Selbst wenn solche Folien mit my-Werten von 100.000 beworben werden, so ist ihr realer SD-Wert mit 10 Metern nicht höher als der von gerade einmal einem Millimeter eines elastomeren Dämmstoffs mit $my = 10.000!$ Oder: Ein elastomeres Cladding mit $my = 50.000$ und 1 mm Stärke bringt so viel Dampfsperrewirkung wie 5 Folienlagen (s. Abb. 8) und ist einfacher, sicherer und schneller anzubringen.

Die einzigen realistisch anwendbaren Dampfsperren sind echte metallische Folien (Metallbedampfung alleine reicht nicht aus), und diese haben ihre Risiken bei Verarbeitung und Verklebung: Es dürfen keine Löcher oder Fugen entstehen, sonst zieht die Installation durch diese Wasser. Eine gute,

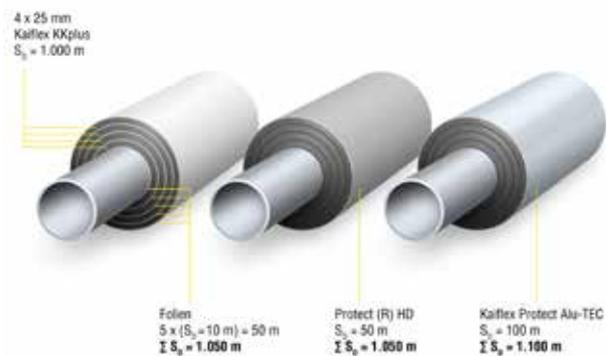


Abbildung 8

wenn auch teurere Alternative sind dicke Alu-Thermoplast-Verbundfolien, welche es mit verstärkender Gewebeeinlage und Selbstklebeausrüstung gibt (s. Abb. 8). Allerdings darf man sich nie auf die Dampfsperre alleine verlassen, der Dämmstoffe selbst muss Sicherheit bieten können.

4. Korrosionsschutz und Dämmung

Der Isolierer muss sich über die Korrosionsgefahr bewusst sein, da er ja das „I“ in CUI verantwortet. Das AGI-Arbeitsblatt Q 151 „Korrosionsschutz unter Isolierungen“ sowie die BTGA-Regel 3.0004 „Korrosionsschutz von Rohrleitungen und Armaturen in Kalt- und Kühlwassersystemen der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA)“ geben wertvolle Hilfestellung, wie ein vorbeugender Korrosionsschutz vor Anbringung der Dämmung auszusehen hat und sollte unbedingt beachtet werden, da es eine anerkannte Regel der Technik darstellt. Nichtbeachtung kann also zu schweren Reklamationen unter Verlust von Versicherungsdeckung und Rechtssicherheit führen. Das gilt auch, wenn der Isolierer den Korrosionsschutz nicht selbst ausführt, sondern Mängel an vorhandenen Anstrichen oder Überzügen feststellt und diese nicht meldet oder heilt.

4.1 Metall schützen

Korrosionsschutz auf Leitungen bedeutet i.d.R. die Anwendung eines Anstrichs. Dieser hat die Aufgabe, Feuchtigkeit, schädliche Ionen und wenn möglich auch Sauerstoff vom

Metall fernzuhalten, muss also als ausreichend dicke, geschlossene Schicht auf alle metallischen Teile aufgebracht werden. Dabei ist es egal, mit welchem Metall man es zu tun hat: Wie oben ausführlich gezeigt, ist jede Legierung in der einen oder andere Weise anfällig für Korrosion.

Praktikable Korrosionsschutz-Anstriche müssen daher auf Eisen- und NE-Metallen gleichermaßen haften und funktionieren, was meist zu einem Mehrschichtaufbau führt. Vorteilhaft ist es dabei, wenn die einzelnen Komponenten unterschiedlich gefärbt sind, so dass man den Fortgang und die ausreichende Überdeckung optisch kontrollieren kann (s. Abb. 9). Epoxid- und Polyester- (PU-) Systeme müssen pro Schicht aus zwei Komponenten angerührt werden, wogegen Anstriche mit Alkyd- oder Acrylharzbinder einkomponentig und damit rascher zu verarbeiten sind. Mit dem Anstrich allein ist es allerdings nicht getan: Die Verträglichkeit mit dem aufzubringenden Dämmstoff selbst als auch mit z.B. dem entsprechenden Dämmstoffkleber muss in beiden Richtun-



Abbildung 9

gen geprüft sein, um Erweichen des Anstrichbinders oder Veränderungen von Kleber oder Dämmstoff auszuschließen.

4.2 Richtiger Dämmungsaufbau

Wie oben gezeigt ist ein dampfsperrender Dämmstoff ein je nach Anwendung wichtiger bis essenzieller Bestandteil des vorbeugenden Korrosionsschutzes. Neben geschäumtem

Glas weisen elastomere Dämmstoffe im Schnitt die höchsten μ -Werte auf. Da Gummi normalerweise selbst wasserabstoßend (hydrophob) ist, bietet er als Schaum beste Voraussetzungen für sichere Kälte- und Wechseltemperaturdämmungen, wenn er korrekt verarbeitet ist, also z.B. mit Kautschuk-Klebern versiegelt.

Je nach Anwendung kann elastomeres Dämmstoff (FEF) alleine auf die (mittels Anstrich korrosionsgeschützte) Installation aufgebracht werden oder wird mehrlagig mit Dampfbremsen oder –sperrern verarbeitet. Da metallische Ummantelungen nie völlig dicht zu bekommen sind, ist als äußerste Schicht ein elastomeres Cladding zu empfehlen. Bei extremen Temperaturen bietet sich folgerichtig eine Kombination von anorganischer Innenlage mit einem Mantel aus FEF an, wobei der Taupunkt im FEF liegen muss.

5 Fazit

Korrosionsschutz als wichtiges Element einer dauerhaft leistungsfähigen Dämmung muss fachgerecht und sicher erfolgen. Das Ganze abgestimmt auf den jeweils verwendeten Dämmstoff.

Die Anstriche des Kaifinish Korrosionsschutzsystems sind einkomponentig und somit einfacher sowie schneller zu verarbeiten. Durch ihren unterschiedlichen Farbton ist eine eindeutige optische Fortschrittskontrolle zu jeder Zeit gewährleistet.

Verarbeiter und Betreiber sind somit auf der sicheren Seite.

Literaturverzeichnis

Erwähnte Standards

- [a] DIN EN ISO 8044:2015-12
„Korrosion von Metallen und Legierungen –
Grundbegriffe“
- [b] AGI Arbeitsblatt Q 151
„Korrosionsschutz unter Isolierungen“
- [c] BTGA-Regel 3.0004 „Korrosionsschutz von Rohrlei-
tungen und Armaturen in Kalt- und Kühlwassersyste-
men der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA)“

Kommentiertes Literaturverzeichnis

- [1] Kunze (Hrsg.): Korrosion und Korrosionsschutz,
6 Bde., Weinheim 2001.
Standardwerk mit fast 3800 Seiten, sehr umfassend,
aber aufgrund der vielen Autoren nicht homogen
geschrieben und nicht gleichartig aktuell.
- [2] Kaesche: Die Korrosion der Metalle, Berlin 1990.
Nicht mehr ganz aktuell, aber gut lesbar: Man kann
jedes Kapitel für sich verstehen, ohne alles von vorne
nach hinten durcharbeiten zu müssen.
- [3] Trostmann: Korrosion – Ursachen und Vermeidung,
Weinheim 2001.
Basis war ein Vorlesungsskript, deshalb etwas akade-
misch, aber konzentrierter und stringenter als [1].
- [4] Winnik (Hrsg.): Corrosion-Under-Insulation (CUI)
Guidelines: Revised Edition, Cambridge 2016.
Teil einer großen Serie über Korrosion;
sehr gut praxisorientiert.
- [5] Schweitzer: Corrosion of Polymers and Elastomers,
Boca Raton 2007.
“Corrosion“ meint hier allgemein die Schädigung von
Kunststoffen, inklusive echter Korrosion. Kompletter
Überblick.
- [6] Raja, Shoji: Stress corrosion cracking –
Theory and practice, Cambridge 2001.
Umfassender aktueller Überblick zum Phänomen SCC.

