

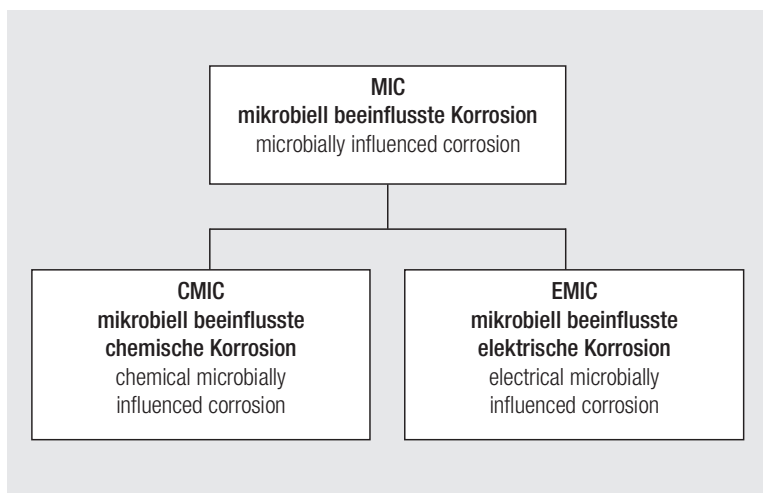
Biokorrosion an Rohrsystemen und Bauwerken

Korrosion an Rohrsystemen und Bauwerken nimmt Einfluss auf **technische und wirtschaftliche Faktoren** eines jeden Betriebs. Unentdeckte bzw. in ihrer Ursache falsch interpretierte Korrosionsvorgänge können Schäden verursachen, die mitunter auch rechtliche Folgen nach sich ziehen, z. B. wenn in Folge Menschen oder die Umwelt betroffen sind. Während Korrosion und die Möglichkeit des Schutzes in Fachkreisen viel diskutierte Themen darstellen, ist das Problem der Biokorrosion relativ unbekannt. Die Autoren untersuchen Schäden in diesem Bereich und entwickeln Methoden, um Biokorrosion und deren Schadenspotenziale bereits in der Planungsphase zu prognostizieren und daraus Strategien zu entwickeln. Es gilt, **zutreffende Schutzmethoden** zu wählen, um höchste Zuverlässigkeit, Nutzungsdauer und damit Wirtschaftlichkeit für Rohrsysteme und Bauwerke zu erreichen.

von: Dieter Weismann (awa.consult) & Dr. Jan Küver (MPA Bremen)

Korrosion ist bekanntlich ein weitläufiger Begriff mit negativer Besetzung, mit dem überwiegend die Metallkorrosion verbunden wird, die in DIN EN ISO 8044 [1] als „Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umgebung,“ definiert ist, „ die eine messbare Veränderung des Werkstoffs bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines mechanischen Bauteiles oder eines ganzen Systems führen kann.“ Des Weiteren wird dort mit „in den meisten Fällen ist diese Reaktion elektrochemischer Natur“ auf die hinlänglich bekannten Ursachen eingegangen. Ergänzend wird mit der unkonkreten Formulierung „in einigen Fällen kann sie jedoch auch chemischer oder metallphysikalischer Natur sein“ auf die Biokorrosion einschließenden Ursachen verwiesen.

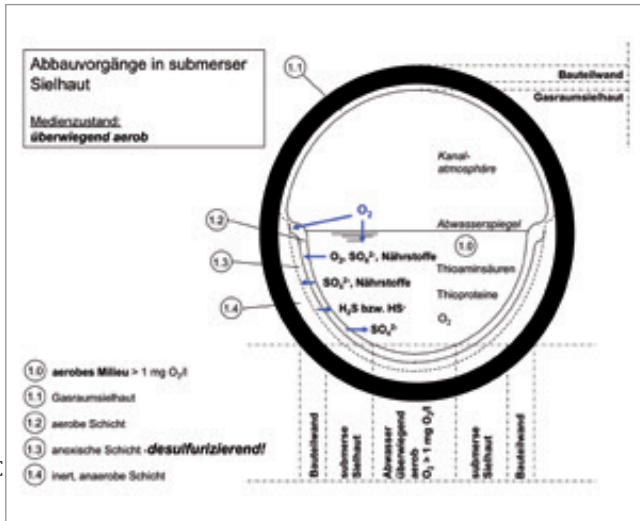
Korrosion lässt sich aber nicht nur auf metallische Werkstoffe einschränken. Sie kann im Gegenteil an allen Werkstoffen stattfinden und selbst Kunststoffe und Glas betreffen. Einen großen Komplex bildet auch die Betonkorrosion, die z. B. Bauwerke oder Innenbeschichtungen von Gussrohrleitungen erfasst. Korrosion ist ein Problemfaktor, der bei zahlreichen Materialien wie auch Werkstoffen und demnach in verschiedensten Branchen auftreten kann. Ob und mit welchem Schadenspotenzial Korrosion tatsächlich auftritt, ist von den konkreten Bedingungen abhängig und muss projektspezifisch untersucht werden. Ohne bekannte Korrosionsursache ist eine zutreffende Maßnahme, die dem Schutz vor Korrosion dient, nur unsicher möglich.



Quelle: awa.consult

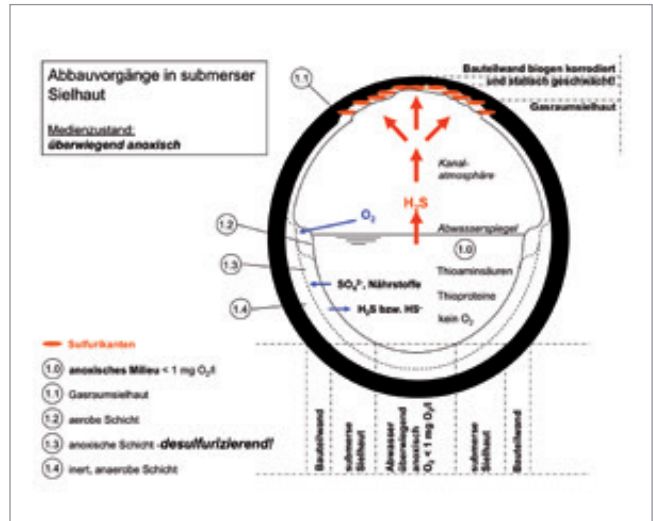
Abb. 1: MIC – Differenzierung nach Mechanismen

Im Allgemeinen werden zwei bekannte Korrosionstypen unterschieden, die bei metallischen Rohrleitungswerkstoffen auftreten können: die chemische und die elektrochemische Korrosion. Die Wirkung zeigt sich in weitestgehend typischen Korrosionsarten, wie z. B. kontakt- oder interkristalline Korrosion sowie Spalt- oder Lochfraßkorrosion. Bauwerke, wie solche aus Stahlbeton, unterliegen ebenfalls der Korrosion, wobei beim Beton vorrangig die chemische Korrosion führend ist. Die im Beton verbauten Metallteile, beispielsweise Armierungsstähle oder Erdungsanschlusspunkte, können dagegen durch beide genannten Korrosionstypen angegriffen werden.



Quelle: [6]

Abb. 2: Mikrobiologische Vorgänge in einem unkritischen, oxischen Milieu einer Abwasserleitung))



Quelle: [6]

Abb. 3: Mikrobiologische Vorgänge in einem kritischen, anoxischen Milieu einer Abwasserleitung))

Korrosionsangriffe von außen sind überwiegend von der Objektumgebung, beispielsweise von Stoffen im Boden oder der umgebenden Atmosphäre und ihrer chemischen Zusammensetzung, abhängig. Die innere Korrosion von Rohrleitungssystemen oder Bauwerksräumen geht grundsätzlich von einem Medium aus, das sich in dem Rohrleitungssystem befindet bzw. dort transportiert wird. Dabei kann wiederum das Medium selbst oder ein sich daraus entwickelter Stoff verantwortlich für die Korrosion sein.

Biokorrosion – eine chemische Korrosion mit Beteiligung von Mikroorganismen

Biokorrosion (im englischen Sprachraum microbially induced oder microbially influenced corrosion, kurz MIC genannt) ist im Wesentlichen eine chemische Korrosion an Materialoberflächen, die durch Aktivitäten von Mikroorganismen ausgelöst wird. Hierbei sind grundsätzlich zwei Mechanismen zu unterscheiden, die in **Abbildung 1** dargestellt sind.

Der erste Mechanismus – CMIC

CMIC (chemical microbially influenced corrosion) ist ein indirekt wirkender Mechanismus, der chemisch durch die Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen verursacht wird [2]. Beispiele hierfür sind die biogene

Schwefelsäurekorrosion über die Bildung von Schwefelsäure durch schwefeloxidierende Bakterien, die Bildung von Milchsäure und andere organische Säuren durch fermentierende Bakterien während der Silagebildung, welche dann zur Betonkorrosion führt, und die Korrosion von Eisenbauteilen durch den von sulfatreduzierenden Bakterien produzierten Schwefelwasserstoff (H₂S). In allen Fällen sind es letztendlich Säuren, die von Mikroorganismen gebildet werden und dann zu einer Korrosion der Materialien führen.

Der zweite Mechanismus – EMIC

EMIC (electrical microbially influenced corrosion) ist ein direkt wirkender, durch die direkte Aufnahme von Elektronen aus Eisenbauteilen [3] und durch bestimmte Mikroorganismen verursachter Mechanismus, wobei metallisches Eisen zu zweiwertigem Eisen oxidiert wird. Dieser Prozess ist bisher nur für Eisen nachgewiesen. Die dafür verantwortlichen Mikroorganismen lagern sich dazu auf der Oberfläche an. Obwohl dieser Mechanismus schon 2004 [2] vermutet wurde und mittlerweile belegt ist [4], finden diese Erkenntnisse kaum Eingang in einschlägige Fachliteratur. Bemerkenswert ist, dass der Mechanismus sowohl unter Labor- als auch unter Feldbedingungen zu deutlich höheren Abströmraten führt [4].

Eine direkte Aufnahme von Elektronen ist bisher für sulfatreduzierende Bakterien und methanbildende Archaeen nachgewiesen [4, 5]. Es ist aber von einer weiteren Verbreitung auszugehen. Der EMIC-Mechanismus unterscheidet sich von der klassischen kathodischen Depolarisierung, die über die Wasserstoffbildung verläuft. Dieser Prozess ist eher dem ersten Mechanismus, also dem CIMC, zuzuordnen, da der gebildete Schwefelwasserstoff, das Stoffwechselprodukt der sulfatreduzierenden

DALMINEX

Teleskop Einbaugarnitur T3 für Kugelhähne

DALMINEX, Hersteller von Einbaugarnituren und Bedienelementen für den Rohrleitungsbau.

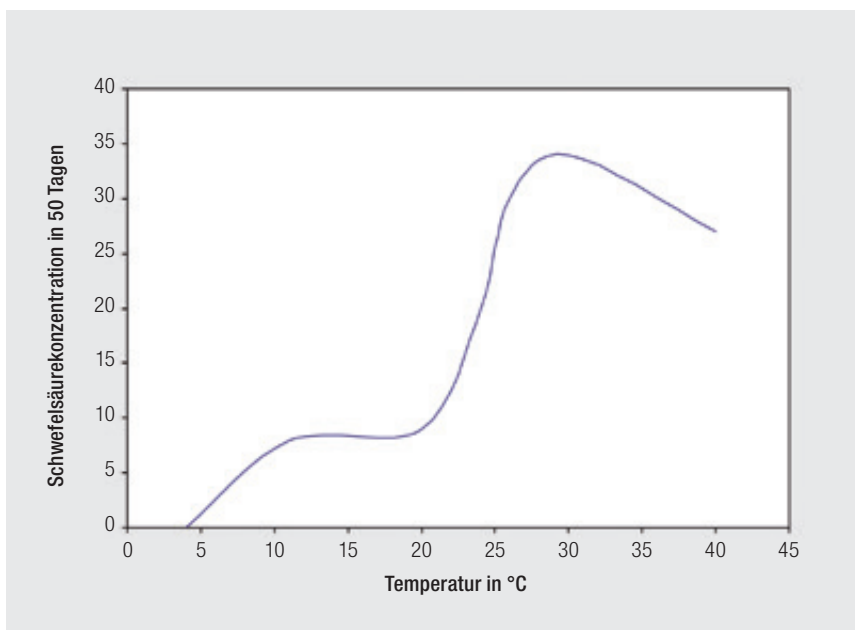
Unsere Produkte im Überblick:

- ◆ Teleskop Einbaugarnituren
- ◆ Verstellbare Einbaugarnituren
- ◆ Starre Einbaugarnituren
- ◆ Zeigerwerke
- ◆ Schacht- & Abwassersysteme
- ◆ Bedienungsschlüssel
- ◆ Zubehör
- ◆ Rohrleitungszubehör



DALMINEX GmbH
Hellerstraße 87 • 33758 Schloß Holte-Sukkerbück
Telefon: 0549 (0)5207 91370 • info@dalminex.de • www.dalminex.de

Besuchen Sie uns!
IFAT Halle A4 | Stand-Nr.: 328
30. Mai - 03. Juni. 2016



Quelle: [6]

Abb. 4: Aktivitätenkurve in Anlehnung an den *Acidithiobacillus thiooxidans*

Bakterien, Auslöser ist. Die Schadenbilder zeigen teilweise typische Ausprägungen, gleichen aber teilweise Schadenbildern, die andere Auslöser haben.

Die am häufigsten auftretende Form der Biokorrosion von Eisenverbindungen ist die Korrosion, die durch sulfatreduzierende Mikroorganismen ausgelöst wird. Hier sind wiederum die bereits erwähnten beiden Mechanismen CMIC und EMIC zu unterscheiden, wobei CMIC geringe und EMIC recht hohe Korrosionsraten aufweist.

Biokorrosion ist in vielen Bereichen und damit vielen verschiedenen Branchen anzutreffen, wobei korrosiv wirkende Mikroorganismen insbesondere dort auftreten, wo schwefelhaltige Medien oder Materialien transportiert oder verarbeitet bzw. entsprechende Hilfsstoffe eingesetzt werden (z. B. in der Umweltschichttechnologie, Lebensmittelverarbeitung, Mineralölindustrie, aber auch bei Anlagen der erneuerbaren Energien). In der Bauwirtschaft kann sowohl die Bildung von Schwefelwasserstoff als auch die Schwefelsäurebildung zu massiven Problemen führen. Von der gleichen Problematik sind aber auch Biogasanla-

gen und andere landwirtschaftliche Bauten, Kläranlagen, Öl- und Gasförder- und Gastransportanlagen sowie viele Off- und Nearshore-Bauten (z. B. Windenergieanlagen, Hafenanlagen) betroffen. Eine Auseinandersetzung mit der Problematik findet aber nicht überall statt. So ist das Problembewusstsein im Bereich der Öl- und Gasindustrie, im Hafensbereich, bei Biogasanlagen und bei dem Transport und der Behandlung von Abwasser deutlich stärker ausgeprägt als bei der Offshore-Windkraftindustrie. In **Abbildung 2** sind die Vorgänge in einer Abwasserrohrleitung im unkritischen, oxischen Milieu dargestellt. **Abbildung 3** zeigt dieselbe Leitung mit anoxischem Milieu, wobei das Rohrmaterial im Deckenbereich durch mikrobiell erzeugte Schwefelsäure (H_2SO_4) geschädigt wird.

Biokorrosion bedingt die Beteiligung von Mikroorganismen. Sind die Bedingungen dafür nicht gegeben, d. h., sind keine entsprechenden Mikroorganismen vorhanden, ist Biokorrosion als Ursache auszuschließen. Die Rahmenbedingungen für Vorhandensein und Aktivität der Mikroorganismen sind jedoch breit gefächert. Insbesondere das Vorhandensein von Feuchtigkeit ist wichtig. Zudem haben Temperaturen einen wesentlichen Einfluss auf die biochemische Aktivität der Mikroorganismen. In **Abbildung 4** ist dies beispielhaft für



Quelle: MPA Bremen, Mikrobiologie

Abb. 5: Durch MIC von der Landseite verursachtes Loch in einer metallischen Spundwand



Quelle: awaconsult, Chemnitz

Abb. 6: Durch MIC verursachte Betonzersetzung im Abwassersystem eines Lebensmittelverarbeitenden Betriebs

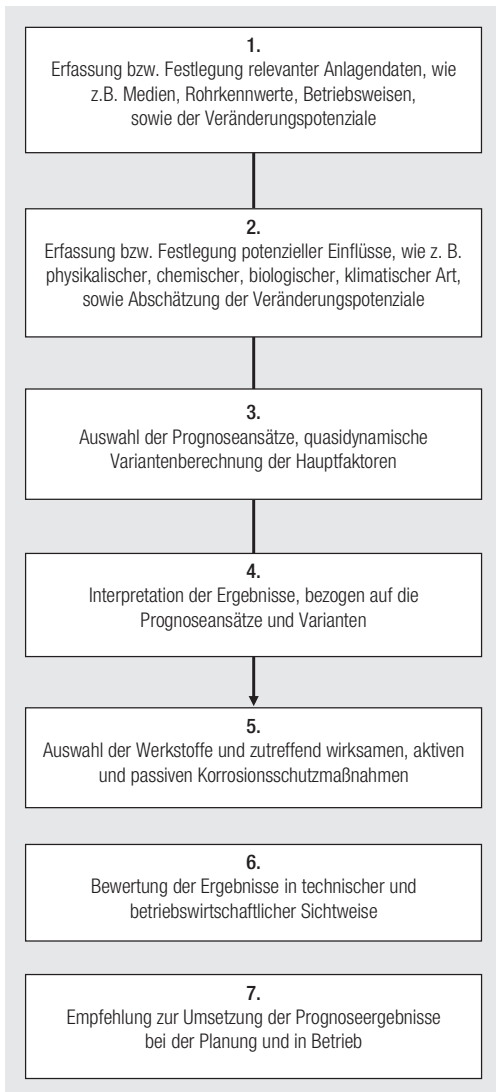


Abb. 7: Ablaufschema einer Biokorrosionsprognose

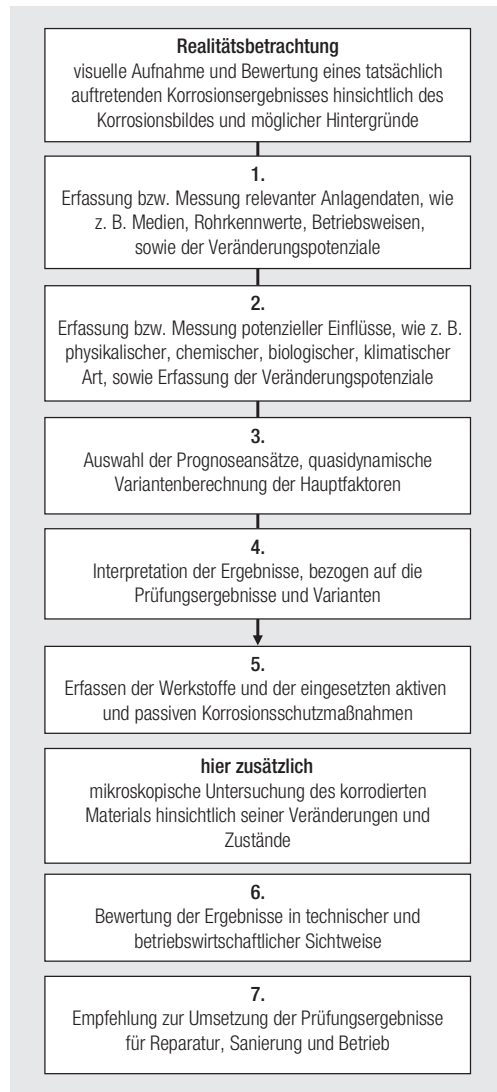


Abb. 8: Plausibilitätsprüfung und analytische Prüfung von Biokorrosion im Betrieb

ein schwefeloxidierendes Bakterium dargestellt, das elementaren Schwefel zu Schwefelsäure „verarbeitet“. Dieser Vorgang führt zu chemischen Schwefelsäurekorrosion, oft „Biogene Schwefelsäurekorrosion (BSK)“ genannt.

Die Beurteilung, ob Mikroorganismen vorhanden sein könnten bzw. vorhanden sind, sowie die ermittelte Stoffwechselaktivität sind ausschlaggebende Kriterien, an denen sowohl die Biokorrosionsprognose in der Planungsphase als auch die Plausibilitätsprüfung im betrieblichen Schadensfall anknüpfen.

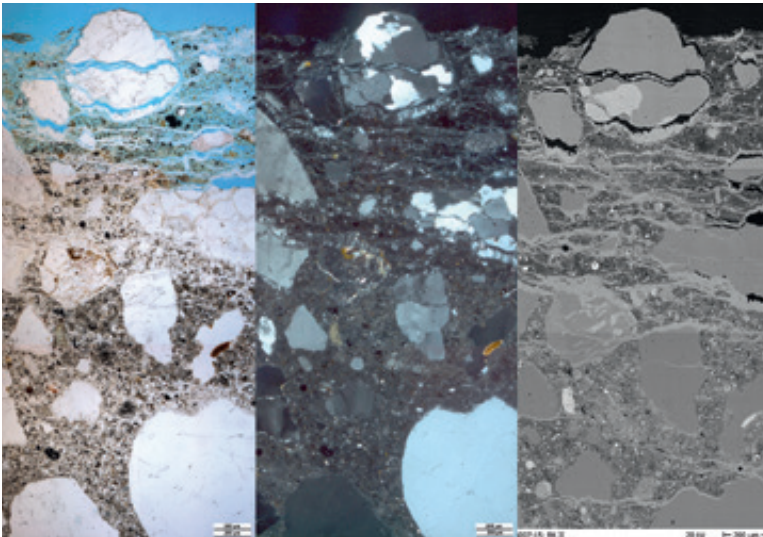
Biokorrosionsprognosen in der Planung

Die Einbeziehung von Biokorrosionsprognosen an Rohrleitungssystemen und Bauwerken müssen zukünftig stärker in die Planungsphase einbezogen werden, da dies den allgemein anerkannten Regeln der Technik (aaRdT) entspricht

und damit zum Planungsumfang gehört. Sie sind Bestandteil einer problemorientierten Korrosionsschutzlösung von Rohrleitungssystemen und Bauwerken. Dabei kann geklärt werden, ob konventionelle Korrosionsschutzmethoden zutreffend bzw. ausreichend sind oder ergänzt

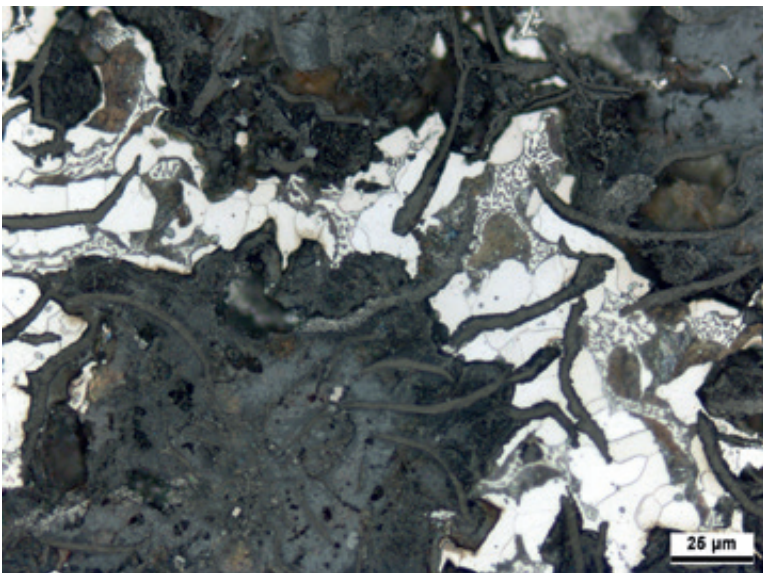


Abb. 9: Von Biokorrosion angegriffene Stahlbetonoberfläche mit verschiedenen Korrosionsraten



Quelle: MPA Bremen, Analytische Baustoffmikroskopie

Abb. 10: Verschiedene Mikroskopieaufnahmen eines Betongefüges, das durch Biokorrosion angegriffen wurde; links: LiMi, Mitte: PolMI #, rechts: REM



Quelle: MPA Bremen, Abteilung Metallische Werkstoffe

Abb. 11: Spongiose (selektive Zerstörung des Gusseisens) eines Gussrohres, verursacht durch MIC

bzw. ersetzt werden müssen. Insbesondere hat sich die Prognostizierung von Biokorrosions-Potenzialen in der Planungsphase als notwendig ergeben, weil viele Erscheinungsbilder anderer Korrosionsarten, wie z. B. Lochfraßkorrosion an metallischen Werkstoffen (Abb. 5) oder Materialzersetzung, die zu Flächenabtrag an mineralischen Werkstoffen führt (Abb. 6), Fehlinterpretationen mit sich ziehen und damit falsche bzw. weniger wirksamen Korrosionsschutzmaßnahmen zur Folge haben können.

Grundlage einer Biokorrosionsprognose ist die Kenntnis der äußeren und inneren Bedingungen (Abb. 7). Sind diese nicht konkret bekannt, werden objekttypische, übliche oder festgelegte, z. B. kritische, Bedingungen angesetzt. Ist der Werkstoff/das Material bereits festgelegt, werden die mikrobiologischen Verhältnisse geprüft, um im Ergebnis das Biokorrosionsrisiko zu bestimmen, das wiederum Aufschluss auf notwendige Maßnahmen gegen Biokorrosion gibt. Stehen die einzusetzenden Werkstoffe bzw. Materialien noch nicht fest, kann dies aufgrund der Erkenntnisse dahingehend festgelegt werden, dass eine maximale Nutzungsdauer entsteht und Schutzmaßnahmen auf den minimal notwendigen Umfang reduziert werden können.

Im Ergebnis der Biokorrosionsprognose stehen die kritischen Werte fest, die in der weiterführenden Planung die Grundlage für die Festlegungen hinsichtlich des aktiven und passiven Korrosionsschutzes sind, also z. B. des Rohrwerkstoffs oder/und einer Beschichtung als aktiver Korrosionsschutz und eventuell notwendige Zusatzmaßnahmen. Ergänzend kann nun

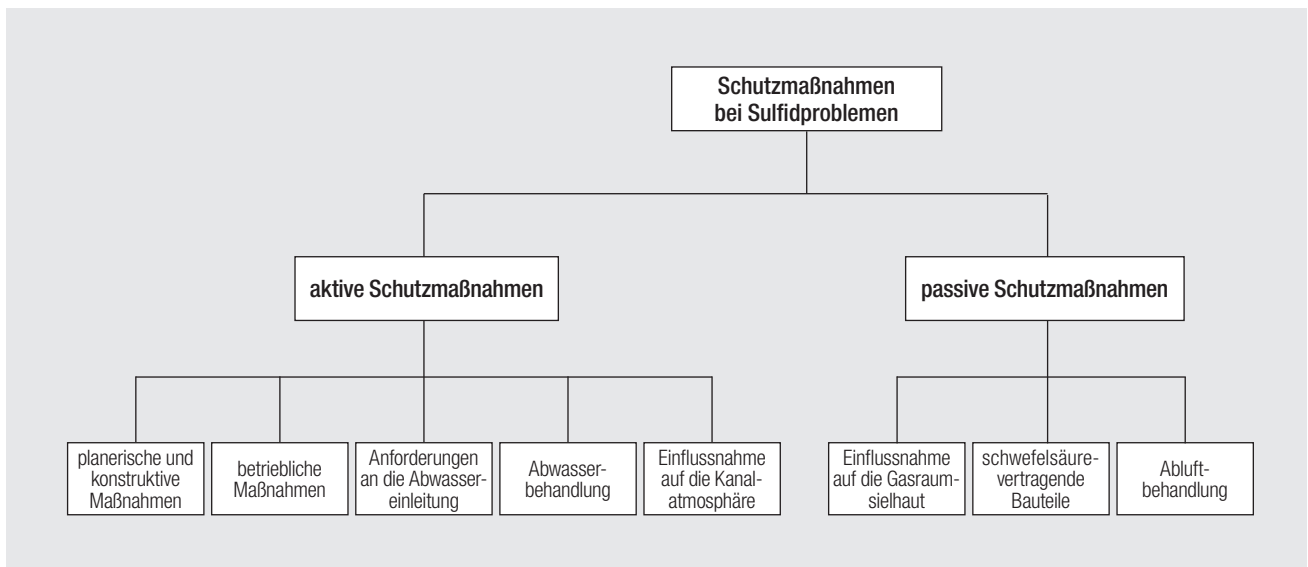


Abb. 12: Übersicht aller aktiven und passiven Schutzmaßnahmen gegen Sulfid-Korrosion

Quelle: [7]

geprüft werden, inwieweit geplante konventionelle Korrosionsschutzmaßnahmen, wie z. B. der kathodische Korrosionsschutz, wirksam sind bzw. möglicherweise durch Biokorrosion beeinträchtigt werden.

Feststellung von Biokorrosion im Betrieb

Treten Korrosionsprobleme im Betrieb auf, eignet sich eine Plausibilitätsprüfung, gegebenenfalls gefolgt von einer analytische Prüfung der Korrosionsbilder und der betroffenen Materialien oder Bauteile, um Biokorrosion auszuschließen oder zu bestätigen (Abb. 8). Die mikroskopische Untersuchung des geschädigten Materials dient überwiegend der Feststellung von Gefügeveränderungen, die zu Materialabtrag und damit zu Dichtheits- und statischen Probleme führen können.

Abbildung 9 zeigt die Teilfläche eines durch Biokorrosion geschädigten, abwasserführenden Bauwerkes, dem Bohrerkerne für die mikroskopische Untersuchung entnommen wurden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 dargestellt. Deutlich ist die Verwitterungstiefe zu sehen, da der Deckungsbeton bereits nach drei Jahren durch Biokorrosion zersetzt und abgetragen wurde. Die Betonfüllstoffe liegen teilweise frei, sodass die Vorgänge schnell in tiefere Schichten verlagert werden, dort die Baustähle angegriffen werden können und damit die Statik nicht mehr gewährleistet ist. Ebenso sind Risse selbst in Quarzkörnern zu erkennen, die durch Quellvorgänge des gebildeten Gipses zu hohen Scherkräften geführt haben.

Abbildung 11 zeigt die Spongiose (selektive Zerstörung des Gusseisens) eines Gussrohres, verursacht durch MIC. In der gräulich verfärbten Zone sind von der ursprünglichen ferritisch-perlitischen Matrix nur noch kleine Bereiche vorhanden. Der vorhandene Lamellengraphit ist verblieben.

Aus den Untersuchungen lassen sich Schlussfolgerungen über die Ursachen ableiten, die für die Materialverände-

rungen verantwortlich sein können. Dies ist für die Beurteilung der Korrosionsart und deren Ursache wichtig, da Korrosionsbilder visuell übereinstimmen, jedoch ursächlich völlig abweichend sein können.

Schutzmöglichkeiten gegen Biokorrosion

Der beste Schutz gegen Biokorrosion ist, das Vorhandensein entsprechender Mikroorganismen zu vermeiden. Dieses Ziel zu erreichen ist in der Praxis jedoch überwiegend nicht möglich. Zum einen, weil die Umgebungs- und Medienbedingungen nicht immer beeinflusst werden können, zum anderen sind Mikroorganismen äußerst anpassungsfähig. Sie überleben und entwickeln sich unter den widrigsten Umständen und in Lebensräumen, wie z. B. die weit verbreiteten, schwefeloxidierenden Mikroorganismen. Dementsprechend muss der Wahl der Werkstoffe und Materialien eine besondere Bedeutung zugemessen werden. In diesem Zusammenhang sei aber darauf verwiesen, dass selbst Edelmetalle, Kunststoffe und Glas von Biokorrosion betroffen sein können und hier besonders Augenmerk auf deren konkrete stoffliche Zusammensetzung gerichtet werden muss.

In Abbildung 12 werden aktive und passive Schutzmöglichkeiten gegen Biokorrosion am Beispiel von Abwasserrohrleitungssystemen aufgeführt. Für andere Medien und Fälle können davon entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden. Die konkreten aktiven und passiven Schutzmaßnahmen ergeben etwa 50 Varianten, die für jeden Einzelfall auf Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit hin geprüft werden müssen. Ist das abgeschlossen, müssen zusätzlich Maßnahmen geprüft werden sowie deren Verträglichkeit mit den bezüglich der Biokorrosion empfohlenen Korrosionsschutzmaßnahmen. ■

Literatur

- [1] DIN EN ISO 8044, Korrosion von Metallen und Legierungen - Grundbegriffe (ISO/FDIS 8044:2014)
 [2] Dinh HT, Kuever J, Mußmann M, Hassel AW, Stratmann M, Widdel F. 2004. Iron corrosion by novel anaerobic microorganisms. Nature 427:829–832.

Ihr Partner für Straßenkappen

Für Gas, Wasser und Fernwärme:

- starr und verstellbar
- individuelle Lösungen
- DIN-DVGW-zertifiziert



BESUCHEN SIE UNS:

50
 Gratis-Tickets
 jetzt anfordern:
 service@zuern.com



Sie finden uns in:
 Halle B6 – Stand 117

mehr Tiefbauprodukte: zuern.com

- [3] Enning D, Garrelfs J. 2014. Corrosion of iron by sulfate-reducing bacteria: new views of an old problem. Appl Environ Microbiol 80:1226–1236.
 [4] Enning D., Venzlaff H., Garrelfs J., Dinh H.T., Meyer V., Mayrhofer K., Hassel A.W., Stratmann M., Widdel F., 2012. Marine sulfate-reducing bacteria cause serious corrosion of iron under electroconductive biogenic mineral crust. Environ. Microbiol. 14:1772–1787.
 [5] Beese-Vasbender, P.F., Grote, J.-P., Garrelfs, J., Stratmann, M., Mayrhofer, K.J.J. 2015. Selective microbial electrosynthesis of methane by a pure culture of a marine lithoautotrophic archaeon. Bioelectrochemistry 102: 50-55
 [6] D. Weismann und M. Lohse (Hrsg.) 2007, Sulfid-Praxis-handbuch der Abwassertechnik, Biogene Korrosion, Geruch, Gefahr verhindern und Kosten beherrschen, Vulkan-Verlag Essen, Seite 120

Die Autoren

Dipl.-Ing. Dieter Weismann ist Leiter des Fachbereichs „Medientransport Geruchsprobleme und Biokorrosion“ bei der awa.consult Chemnitz.

Dr. rer. nat. Jan Küver ist Abteilungsleiter Mikrobiologie der MPA Bremen.

Kontakt:

Dieter Weismann, awa.consult Chemnitz
 Ulmenstr. 19, 09112 Chemnitz
 Tel.: 0371 3552317
 Email: d.weismann@awaconsult.com
 Internet: www.awaconsult.com

Dr. Jan Küver, MPA Bremen
 Paul-Feller-Str. 1, 28199 Bremen
 Tel.: 0421 5370870
 E-Mail: kuever@mpa-bremen.de
 Internet: www.mpa-bremen.de