

Korrosion an metallenen Rohrleitungen

Ursachen, Formen und Risikofaktoren

Beim Auftreten von Korrosionserscheinungen an Rohrleitungen von Gebäudeinstallationen und Hauszuleitungen werden Materialfehler und das Einwirken von aggressiven Medien oft als Hauptursachen vermutet. Im folgenden Fachbeitrag erläutert der Autor, dass andere Faktoren, wie die Betriebsbedingungen, Verarbeitungsmängel und die Einwirkung von Gleichströmen weit häufigere Ursachen der Korrosionsprobleme sind.

Besonders in größeren Gebäudekomplexen sind eine Vielzahl von Rohrleitungen aus unterschiedlichen Werkstoffen und für verschiedenste Installationen wie beispielsweise Wasser, Abwasser, Gas, Heizung, Lüftung oder Klima vorhanden. In gewerblich genutzten Gebäuden und in Fabrikationsbetrieben kommen oft noch Produktleitungen und Feuerlöschanlagen dazu. Die Zu- und Ableitungen für Gas, Wasser und Abwasser erfolgen meist von einem erdverlegten öffentlichen Netz, währenddessen Produktleitungen oft auch überirdisch installiert werden. Rohrleitungen sind somit häufig auf der Innen- und Außenseite unterschiedlichen Korrosionsbeanspruchungen ausgesetzt, die im Verlauf der Zeit zu Schäden führen können. Das Hauptproblem stellen dabei lokale Undichtigkeiten, z. B. in Form von Perforationen der Rohrwand dar, so dass oftmals relativ geringfügige Materialverluste zu schwerwiegenden und teuren Schäden (z. B. durch auslaufendes Wasser) führen können. Beim Auftreten von solchen Schäden vermutet der Laie die Ursache oft in schlechtem Material, der Aggressivität des einwirkenden Mediums oder allenfalls noch in der Einwirkung von „Kriechströmen“. Die Erfahrung zeigt aber, dass bei genauerer Untersuchung der Situation meist andere Ursachen für die Entstehung von Schäden verantwortlich sind.

Rohrleitungssysteme, Werkstoffe und angreifende Medien

Bild 1 gibt eine Übersicht über die in Gebäuden am häufigsten vorhandenen Rohrleitungssysteme inklusive den damit verbundenen Apparaten und Installationen sowie den üblicherweise verwendeten Werkstoffen. Außer in sauren Medien, die im betrachteten Einsatzbereich aber nur selten angetroffen werden, sind die (Eigen-)Korrosionsgeschwindigkeiten von aktiv korrodierenden Metallen (wie C-Stahl, verzinktem Stahl und Kupfer) bei flächigem, homogenem Korrosionsabtrag sowohl im Wasser, im Erdreich und an der Atmosphäre relativ bescheiden und übersteigen 0,05 mm/Jahr nur selten. In vielen Fällen verlangsamt sich zudem die Korrosionsgeschwindigkeit durch die Bildung von Deckschichten mit der Zeit deutlich. Grundsätzlich sollten sich deshalb für Rohrleitungen Nut-

zungsdauern von 25 bis 50 Jahren erreichen lassen. Problematisch wirken sich in der Praxis primär Einflussfaktoren aus, die das Auftreten von lokalen Korrosionsangriffen, respektive von Korrosionsformen mit lokal deutlich erhöhten Korrosionsgeschwindigkeiten, begünstigen. Dabei stehen die Einwirkung von Gleichströmen und die lokale Schädigung von Schutzschichten im Vordergrund.

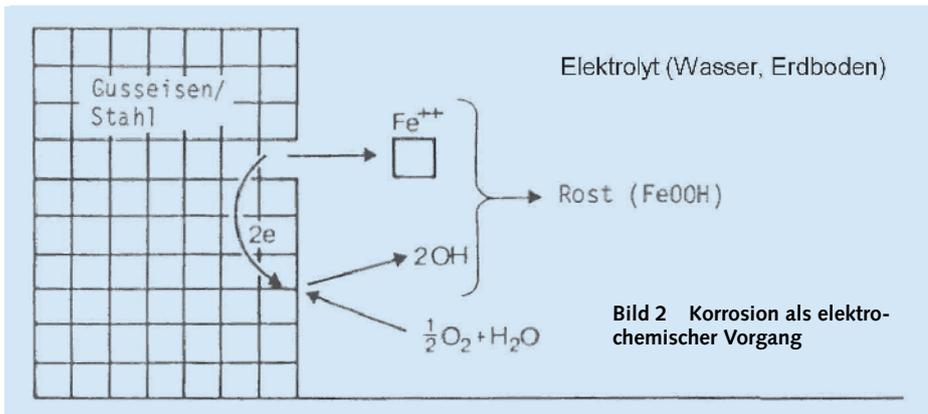
Korrosionsmechanismen

Unter den gegebenen Einsatzbedingungen ist die Korrosion aller Metalle mit elektrochemischen Vorgängen verbunden (Bild 2). Dabei laufen an der Metalloberfläche zwei Teilreaktionen gleichzeitig ab. Als Angriffsmittel wirkt in neutralen oder alkalischen Medien der Sauerstoff, in sauren Medien die H_3O^+ -Ionen.

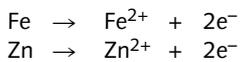
Installation	Werkstoff	
	Im Gebäude (Verteilung)	Im Erdreich (Zuleitung)
Gas	C-Stahl, verzinkter Stahl, nichtrostender Stahl, PE	C-Stahl*, Guss*, PE
Trinkwasser	verzinkter Stahl, nichtrostender Stahl, Kupfer, PE	Guss*, C-Stahl*, PE
Abwasser	Guss, PE, PVC	Guss*, PE, PVC, Zement/Beton
Brauchwasser	verzinkter Stahl, nichtrostender Stahl, PE	Guss*, C-Stahl*, PE, Zement, Beton
Luft	verzinkter Stahl, Aluminium, nichtrostender Stahl, PE	verzinkter Stahl, PE
Heizwasser	C-Stahl, Kupfer, Guss, Aluminium, PE	C-Stahl mit thermischer Isolation
Armaturen	Guss beschichtet, verzinkter Stahl, Stahl beschichtet, nichtrostender Stahl, Messing, Rotguss, Aluminium	Guss*, verzinkter Stahl
Wärmetauscher	C-Stahl, nichtrostender Stahl, Titan, Kupfer	
Wasserehrhitzer	C-Stahl* (mit KKS), nichtrostender Stahl	

* Mit Korrosionsschutzumhüllung/-beschichtung

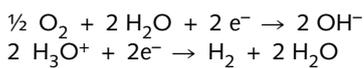
Bild 1 Übersicht gängigster Rohrleitungssysteme in Gebäuden



Anodische Teilreaktion (Metallauflösung)



Kathodische Teilreaktion (Reduktion des Angriffsmittels)



Bei aktiv korrodierenden Metallen (z. B. C-Stahl, Zink) erfolgt normalerweise (in Abwesenheit von Makroelementen) ein mehr oder weniger flächiger Korrosionsabtrag, währenddem bei passiven Metallen (nichtrostender Stahl, Aluminium), deren Korrosionsbeständigkeit auf dem Vorhandensein eines dünnen Oxidfilms (Passivfilms) auf der Metalloberfläche beruht, in der Regel lokale Korrosionserscheinungen wie etwa Lochfraß auftreten (Bild 3). Die Initiierung der Korrosionsangriffe erfolgt bei diesen Werkstoffen meist durch eine

lokale Schädigung des Passivfilms durch spezifische Angriffsmittel, insbesondere Chloride. Je nach Art und Zusammensetzung des angreifenden Mediums (Wasserqualität, Zusammensetzung der Atmosphäre) und Betriebsbedingungen bilden sich, insbesondere auf der Innenseite von Rohrleitungen, häufig Deckschichten aus, welche eine korrosionshemmende Wirkung haben. Verzinkter Stahl und Kupfer verdanken ihre Beständigkeit gegenüber vielen Wässern primär diesen Deckschichten (Bild 4 und 5). Eine Verstärkung der Korrosion, respektive eine Erhöhung der Korrosionsgeschwindigkeit erfolgt beim Vorhandensein von Makroelementen (galvanische Zellen, wo die anodische und die kathodische Reaktion örtlich getrennt ablaufen), z. B. in Mischkonstruktionen aus unterschiedlichen Werkstoffen (Bild 6) oder beim Kontakt mit Fremdkathoden (metallisch mit der Rohrleitung verbundene Fremdstruktur mit positiverem Korrosionspotenzial (Bild 7). Im Extremfall erfolgt dann die Metallauflösung nur noch am Metall mit dem negativeren Korro-

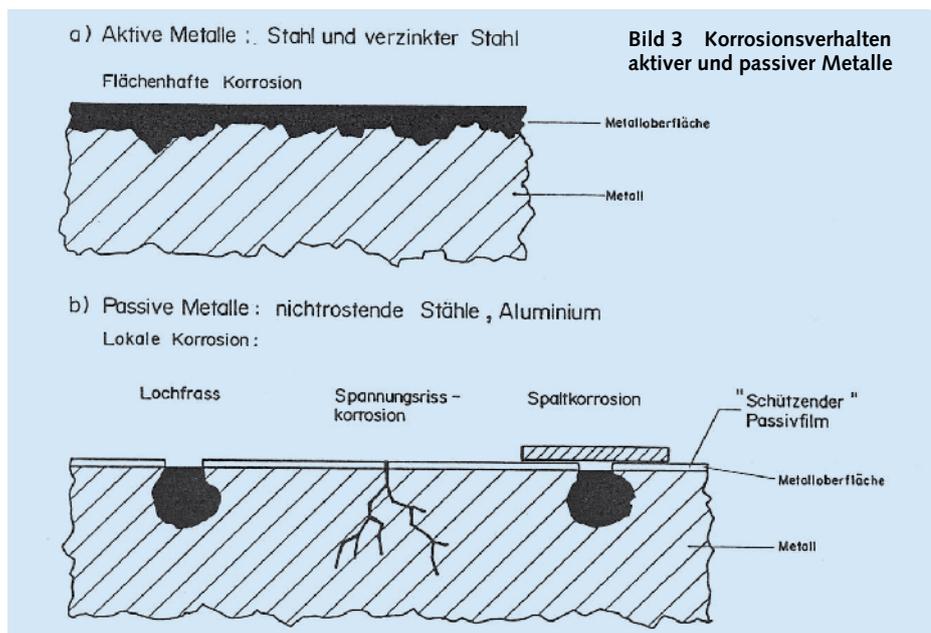




Bild 4 Deckschichten aus Kupfer: links, braune bis schwarze Deckschicht aus Kupferoxid. Rechts, grüne Deckschicht aus basischem Kupfercarbonat

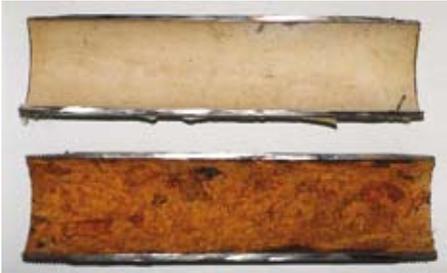


Bild 5 Deckschichten auf verzinktem Stahl: oben Kalkdeckschicht, unten Rostschuttschicht

sionspotenzial (Anode), wobei aber die gesamte Kathodenfläche für die Reduktion des Sauerstoffs zur Verfügung steht. Währenddem die Struktur mit dem positiveren Korrosionspotenzial kathodisch geschützt wird, erhöht sich die Korrosionsgeschwindigkeit an der Anode gemäss der Flächenregel:

$$v_{\text{korr}} = v_{\text{korr},0} * \frac{F_K + F_A}{F_A}$$

v_{korr} Korrosionsgeschwindigkeit an der Anode ohne Makroelementeinfluss (Eigenkorrosion)

$v_{\text{korr},0}$ Korrosionsgeschwindigkeit an der Anode im Makroelement

F_A Fläche der Anode

F_K Fläche der Kathode

Der Durchtritt von Gleichströmen durch die Phasengrenze Metall/Elektrolyt (Wasser, Erdboden) ist mit dem Ablufen elektrochemischer Reaktionen verbunden. Somit können

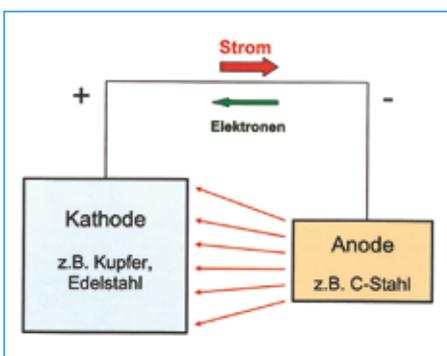


Bild 6 Stromfluss in Makroelementen



angreifende Medium grundsätzlich eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit aufweisen und dass die Betriebsbedingungen die Ausbildung von schützenden Deckschichten erlauben. Häufiger zu Problemen führt die Elementbildung bei Mischkonstruktionen. Bei der direkten Verbindung von Werkstoffen mit unterschiedlichen Korrosionspotenzialen (z. B. verzinkter Stahl und nichtrostender Stahl) entstehen Makroelemente, in denen das Metall mit dem negativeren Potenzial (in diesem Fall das Zink) verstärkt angegriffen wird. Obwohl aus korrosionstechnischer Sicht ungünstig, sind solche Werkstoffkombinationen im Sanitärbereich immer noch üblich und führen auch immer wieder zu Schäden infolge Perforation der Leitungen (Bild 9 und 10). Dass die Anzahl Schäden in der Praxis insgesamt „unerwartet“ klein ist, dürfte vor allem auf die Bildung von isolierend wirkenden Deckschichten und auf die räumlich begrenzte Wirksamkeit der Makroelemente auf der Rohrinnenseite kleinkalibriger Rohre zurückzuführen sein. Das Thema Mischkonstruktionen ist in letzter Zeit wegen der verschärften Anforderungen der Europäischen Trinkwasserrichtlinie bezüglich Wasserqualität an der Zapfstelle des Endverbrauchers wieder aktuell geworden. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass bei gewissen Werkstoffkombinationen die durch die Elementbildung verstärkte Korrosion des „unedleren“ Werkstoffs ausreichend ist, um insbesondere nach Sta-

in Rohrleitungen transportierte Fremdströme (z. B. Streuströme von Gleichstrombahnen) ebenfalls zu Korrosion führen (Bild 8). Beim Stromeintritt ins Metall laufen dabei die für die meisten Werkstoffe ungefährlichen kathodischen Teilreaktionen ab, während beim Stromaustritt die anodische Teilreaktion der Metallauflösung und somit Korrosion auftritt.

Einflussgruppe Werkstoff

Während in der Vergangenheit Fehler bei der Herstellung der Rohre häufiger zu Korrosionsproblemen geführt haben, z. B. Vorhandensein von Kohlenstoffbelägen auf Kupferrohren, schlechte Schweißnähte und Verzinkung dieser Bereiche bei verzinkten Stahlrohren, verspröde PE-Umhüllungen, sind die heute eingesetzten Rohre weitgehend gütegesichert und bieten kaum mehr Anlass zu Korrosionsproblemen. Dies allerdings nur unter der Voraussetzung, dass sie gegen das

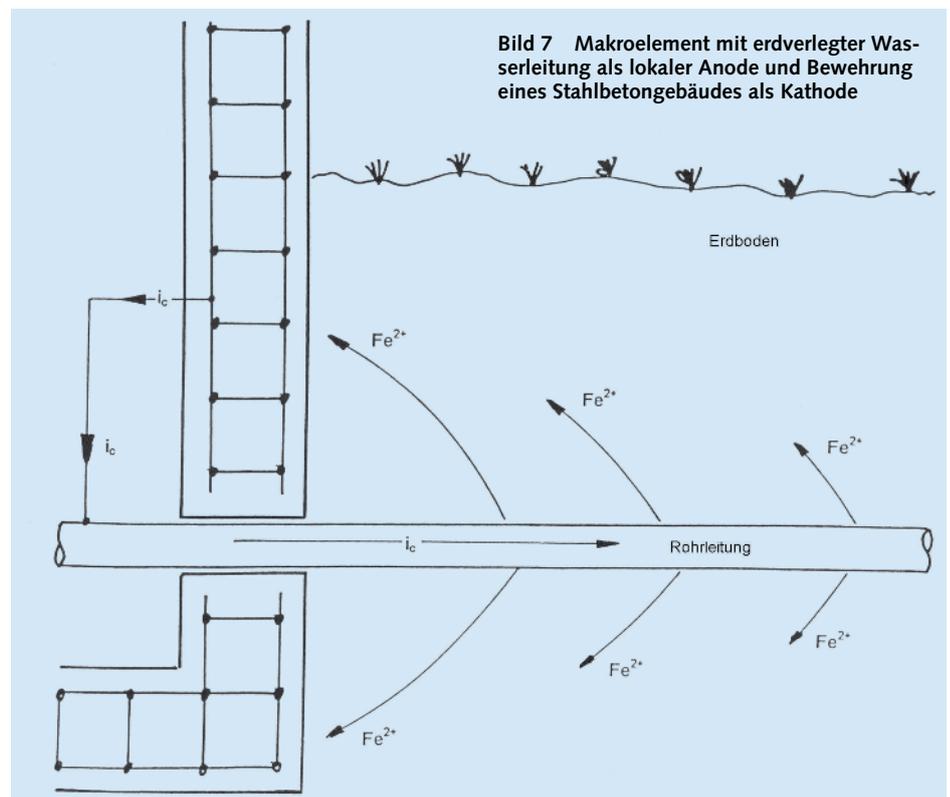


Bild 7 Makroelement mit erdverlegter Wasserleitung als lokaler Anode und Bewehrung eines Stahlbetongebäudes als Kathode

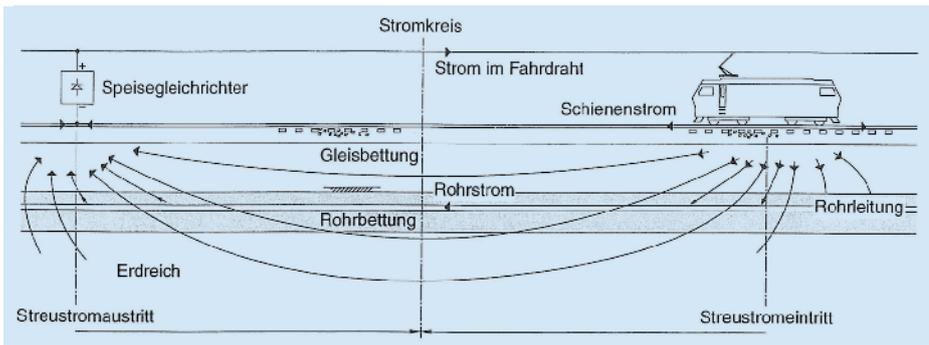


Bild 8 Streustromeinwirkungen auf Rohrleitungen

gnationsphasen Grenzwertüberschreitungen an gesundheitsgefährdenden Wasserinhaltsstoffen (z. B. Nickel aus vernickelten Armaturen, max. zulässige Nickelkonzentration an der Zapfstelle 0,02 mg/l) zu verursachen. Und dies lange bevor die Korrosion ein Ausmaß erreicht, welches zu Funktionsstörungen an den Rohrinstallationen (Undichtigkeiten, Perforationen) führt.

Einflussgruppe Planung, Erstellung und Montage

Bei der Planung und Werkstoffwahl ist auch verarbeitungstechnischen Faktoren Beachtung zu schenken. Beispielsweise müssen bei



Bild 9 Innenkorrosion an einer verzinkten Stahlleitung im Übergangsbereich zu einem Filterkorb aus nichtrostendem Stahl



Bild 10 Perforation an einer in einer Trinkwasserleitung aus nichtrostendem Stahl eingebauten Gussarmatur mit kleinflächig verletzter Innenbeschichtung nach fünf Jahren Einsatzdauer

Installationen aus nichtrostendem Stahl für spaltbehaftete Konstruktionen mit Schraub-, Flansch- oder Klemmverbindungen grundsätzlich höhere Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit der Leitungswerkstoffe gestellt werden als bei durch Schweißverbindungen hergestellten spaltfreien Konstruktionen. Alleine schon deshalb, weil der kritische Chloridgehalt für das Auftreten von Spaltkorrosion (Bild 11) bei den in der Haustechnik eingesetzten nichtrostenden Stählen etwa 5- bis 10-mal niedriger liegt als derjenige für Lochkorrosion. Andererseits erfordern Schweißkonstruktionen eine einwandfreie Verarbeitung und Nachbehandlung der Schweißnähte zur Vermeidung respektive Entfernung von farbigen Oxidschichten (Anlauffarben), welche die Korrosionsbeständigkeit erheblich beeinträchtigen (Bild 12). Die negativen Auswirkungen solcher Oxidschichten auf die Korrosionsbeständigkeit respektive das Lochkorrosionspotenzial ist in Bild 13 dargestellt (die Korrosionsbeständigkeit steigt mit zunehmendem Lochkorrosionspotenzial). Bei nichtrostenden Stählen stellen Verarbeitungsmängel erfahrungsgemäss die häufigste Schadenursache dar. Sie führen stets zu lokalen Korrosionsangriffen, die schon nach kurzen Einsatzdauern zu Schäden führen können (Bild 14). Auch bei Wasserleitungen aus Kupfer sind unsachgemäß ausgeführte



Bild 11 Spaltkorrosion bei Flanschverbindungen



Bild 12 Nicht nachbehandelte Schweißnaht mit Anlauffarben

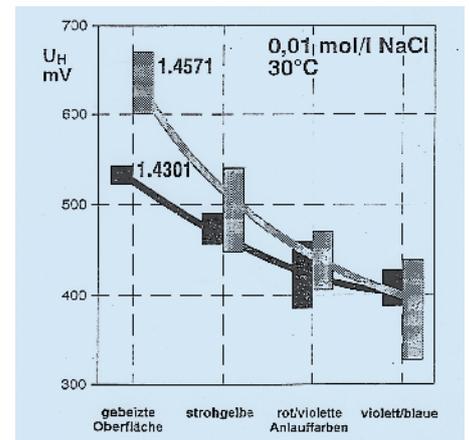


Bild 13 Lochkorrosionspotenzial als Messgröße für die Lochkorrosionsbeständigkeit von zwei austenitischen nichtrostenden Stählen



Bild 14 Korrosionsangriffe durch unsachgemäße Schweißung nach zwei Monaten Betriebszeit



Bild 15 Unsachgemäße Verarbeitung von Kupferrohren, Verminderung der Korrosionsbeständigkeit durch Lot- und Flussmittelrückstände

Lötverbindungen eine häufige Ursache von Korrosionsschäden (Bild 15). Oft werden sie durch auf der Innenseite der Rohre verbleibende Lötmittelrückstände, welche zur Auflösung oder Zerstörung der schützenden Deckschicht (Kupferoxidfilm) führen, verursacht. Bei der Inbetriebnahme sind vor allem die Reinigung, die Druckprobe und die Erstbefüllung Schritte, bei denen die Basis für spätere Korrosionsschäden gelegt werden können. Verbleiben bei mangelhafter Spülung Verunreinigungen, Späne usw. im System, so wird die Bildung von Schutzschichten lokal behindert, das Entstehen von Belüftungselementen gefördert und die Voraussetzungen für Spaltkorrosion geschaffen. Bei verzinkten Leitungen sollte die Druckprobe entweder mit Luft durchgeführt oder das System nach der Druckprobe geleert und getrocknet werden, da unter stagnierenden Bedingungen keine schützenden Deckschichten aufgebaut werden. Vorsicht ist auch beim Einsatz von Frostschutzmitteln angezeigt. Insbesondere glykohlhaltige Produkte neigen zur Zersetzung unter Bildung von aggressiven, sauren Abbauprodukten. Bei der Befüllung und beim Betrieb von großen Anlagen



Bild 16 Verfärbungen an Hallenbadboden aus nichtrostendem Stahl, verursacht durch eingeschleppten Rost aus Netz-/Befüllungsleitungen (Umgehung des Feinfilters)

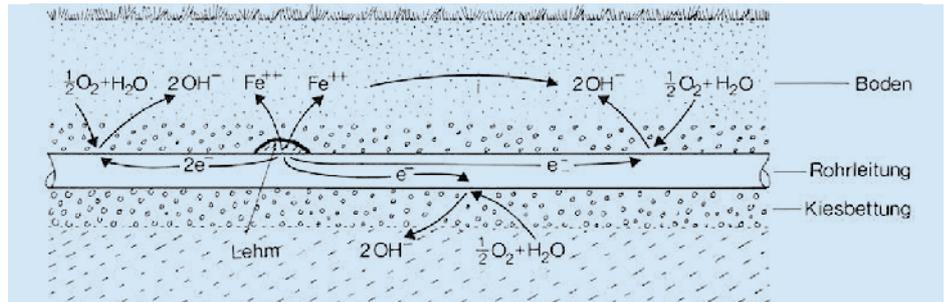


Bild 17 Bildung von Belüftungselementen infolge inhomogener Bettung

wird die normale Einspeisung mit Feinfiltern und eventuell Druckreduzierventil häufig umgangen. Dabei besteht die Gefahr, dass Korrosionsprodukte und Verunreinigungen aus dem Gemeindewassernetz in die Hausinstallationen gelangen, was bei Anlagen aus nichtrostendem Stahl zu unschönen Verfärbungen führen und je nach Wasserqualität bei Leitungen aus Kupfer und nichtrostendem Stahl auch lokale Korrosionserscheinungen hervorrufen kann (Bild 16). Bei metallenen Hauszuleitungen treten vorwiegend Schäden durch Außenkorrosion auf. Korrosionsgefährdungen entstehen dort hauptsächlich durch den Kontakt mit der Bewehrung von Stahlbetonbauten und durch Inhomogenitäten in der Rohrleitungsbettung. Erdverlegte Leitungen werden vorzugsweise in einem sauberen hochohmigen Bettungsmaterial (gewaschener Kies) verlegt. Sind in der Bettung Verunreinigungen (z. B. Lehm) vorhanden, so entstehen aufgrund der unterschiedlichen Belüftung Potenzialdifferenzen, was zur Bildung von Makroelementen zwischen schlecht belüfteten Bereichen (Anoden) und gut belüfteten Zonen (Kathoden) führt (Bild 17). Die Korrosionsangriffe unter den Ablagerungen werden noch verstärkt, wenn die Verunreinigungen eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweisen (z. B. Lehm, Gips, usw.). Ähnliche Vorgänge treten auch auf, wenn Holzkeile als Unterlagen für die Rohre verwendet werden. Beginnen diese zu

faulen, so entstehen saure, anaerobe Bedingungen, was lokal zu hohen Korrosionsraten an C-Stahl oder Gussleitungen führen kann (Bild 18). Eine weitere Ursache von Schäden liegt darin, dass die Rohre in lehmigen Gebieten direkt auf die Grabensohle gelegt und nachher mit Kies überdeckt werden, was zu aktiven Makroelementen und entsprechend hohen Korrosionsgeschwindigkeiten führt (Bild 19).

Dimensionierung und Betriebsbedingungen

Entscheidend zum Korrosionsverhalten von Rohrleitungen tragen die Durchflussbedingungen wie beispielsweise Fließgeschwindigkeiten und Stagnationsphasen bei. Bezüglich Fließgeschwindigkeiten sind die Empfehlungen der technischen Regelwerke zu be-



Bild 18 Korrosion an erdverlegtem Stahlblech durch unterlegte Holzkeile



Bild 19 Korrosion durch inhomogene Bettung: oben in Kies gebettete, unten in Lehm gebettete Rohrhälfte



Bild 20 Schäden an Kupferrohren infolge zu hoher Fließgeschwindigkeiten (v.l.): Erosion an Fitting, Abtrag der schützenden Deckschicht mit anschließender Korrosion

Stockwerk	Entnahmestelle	Fließgeschwindigkeit [m/s]				
		Kupfer Ø 10	Kupfer Ø 13	Stahl Ø 1"	Stahl Ø 1.5"	Stahl Ø 2"
1. OG	Dusche		1.54	0.68	0.42	0.15
1. OG	Waschbecken	2.02		0.52	0.33	0.12
3. OG	Dusche		1.28	0.6	0.35	0.13
3. OG	Waschbecken	1.7		0.45	0.27	0.10

Bild 21 Fließgeschwindigkeiten in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers bei Wasserentnahme an einer Zapfstelle

achten. Zu hohe Fließgeschwindigkeiten bergen, vor allem bei Kupferleitungen (die kritische Fließgeschwindigkeit beträgt je nach Entnahmehäufigkeit und -dauer 2 bis 3 m/s) die Gefahr von Erosionserscheinungen, wobei der Verschraubungsbereich von Fittings (Turbulenzen) und Krümmern (Richtungsänderungen) besonders gefährdet ist. Sie können aber auch den lokalen Abtrag von Schutzschichten (Verzinkung, Deckschichten) verursachen (Bild 20). In der Praxis werden die meisten Korrosionsschäden an Rohrleitungen in Gebäuden durch eine „zu große Dimensionierung“, die sich in geringen Fließgeschwindigkeiten (Bild 21) und eventuell längeren Stagnationsphasen bemerkbar macht, verursacht (Bild 22). Dabei sind nicht immer nur eine ungünstige Auslegung des Systems (Abdeckung eines nur theoretisch

vorhandenen Spitzendbedarfs, Überdimensionierung zur Vermeidung von Schallemissionen) schuld, auch die demographische Entwicklung, bei der pro Person immer größere Wohnflächen beansprucht werden und somit der Wasserverbrauch pro Wohnfläche sinkt, trägt ihren Teil dazu bei. Zu geringe Fließgeschwindigkeiten (< 1 m/s) haben zur Folge, dass Fremdpartikel, Ablagerungen und Rost nicht aus dem System ausgeschwemmt werden, was die Entstehung von Belüftungselementen und Spaltkorrosion begünstigt. Ebenfalls ist die Schutzschichtbildung unter Ablagerungen zumindest behindert. Für Leitungen aus C-Stahl, verzinktem Stahl und Kupfer besonders gefährlich sind häufige und längere Stagnationsphasen. Einerseits kann in Stagnationsphasen eine Stabilisierung insbesondere der anodischen Bereiche von Makro-



Bild 23 Korrosion in Heizungssystem aus C-Stahl:
oben: Phase I: Flächige Korrosion infolge Sauerstoffeintrag durch nicht diffusionsdichte Kunststoffrohre
Mitte: Phase II: Bildung von Ablagerungen in der Rohrsohle (geringe Fließgeschwindigkeit), Bildung von Belüftungselementen
unten: Phase III: Korrosionsangriffe unter Ablagerungen und Perforation der Rohrleitung

elementen erfolgen, andererseits ist zur Bildung und Aufrechterhaltung von schützenden Deckschichten eine regelmäßige Zufuhr von Sauerstoff und/oder CO₂ erforderlich. Verarmt das Wasser während längeren Stagnationsphasen zunehmend an Sauerstoff, so können beispielsweise auf Kupferrohren vorhandene kupferhaltige Deckschichten durch folgenden Redoxprozess abgebaut und gleichzeitig metallisches Kupfer aufgelöst werden. Dabei entstehen schwarze bis violette Cu₂O-Schichten.



Bei Heizungssystemen respektive geschlossenen Kreisläufen mit C-Stahl-Leitungen (Bild 23) wird der überwiegende Teil der Korrosionsprobleme durch einen nicht vorgesehenen Sauerstoffeintrag, welcher häufig auf Dimensionierungs- oder Planungsfehler (Unterdruck, durchflossene Ausgleichsbehälter, Einsatz von nicht diffusionsdichten Kunststoffrohren) zurückzuführen sind, verursacht. Zu hohe Betriebstemperaturen können in selteneren Fällen ebenfalls Korrosionsprobleme hervorrufen. Erwähnt sei dabei die Potenzialumkehr bei verzinkten Leitungen (oberhalb ca. 65 °C verhält sich Stahl unedler als Zink und wird so zur Anode, respektive nicht mehr kathodisch geschützt) oder die Zersetzung von Chlorkautschukanstrichen unter Abspaltung von aggressiver Salzsäure (Bild 24). Bei Leitungen, die nicht vollständig oder nur zeitweise gefüllt sind, kann mit der Zeit eine Aufkonzentration von



Bild 22: Einfluss der Fließgeschwindigkeit auf die Innenkorrosion von verzinkten Wasserleitungen:
oben: Verteilleitung 2. OG, Rohrdurchmesser 1"
Mitte: Verteilleitung Untergeschoss, Rohrdurchmesser 1 1/2"
unten: Hauseinführung, Rohrdurchmesser 2"





Bild 24 Außenkorrosion an einer Heizungsleitung, verursacht durch Salzsäureabspaltung aus Chlorkautschukbeschriftung (v. l.): nicht isolierter Bereich der Rücklaufleitung (unkritische Temperaturen, keine Schäden), Angriffe in isoliertem Bereich der Vorlaufleitung

aggressiven Substanzen, z. B. Chloriden auftreten, so dass auch beim Transport an sich wenig chloridhaltiger Medien die kritischen Werte für das Auftreten von Loch- und Spaltkorrosion bei nichtrostenden Stählen überschritten werden können. Ebenfalls ist zu beachten, dass die Beständigkeit nichtrostender Stähle gegen Loch- und Spaltkorrosion mit zunehmender Temperatur ansteigt. In der Regel tritt beim Überschreiten einer kritischen Temperatur (für die oft verwendeten 18/10/2 CrNiMo-Stähle bei ca. 35 °C) ein Steilabfall in der Lochkorrosionsbeständigkeit auf.

Angreifendes Medium

Für alle Rohrwerkstoffe sind tiefe pH-Werte, weiche und gut belüftete Wässer aus korrosionstechnischer Sicht eher ungünstig und fördern das Auftreten von Korrosionserscheinungen. In vielen Regionen ist Trinkwasser nur in seltenen Ausnahmefällen so aggressiv, dass es als primäre Korrosionsursache in Frage kommt. Hingegen bergen die aus verschiedensten Gründen durchgeführten Wasserbehandlungen ein durchaus nennenswertes Gefährdungspotenzial, was sich auch darin zeigt, dass Korrosionsprobleme in Anlagen mit aufbereitetem Wasser weit häufiger sind als in Anlagen, die mit „normalem“ Leitungswasser betrieben werden. Bei der zur Vermeidung von Ablagerungen dicker Kalkschichten

öfters durchgeführten Wasserenthärtung kann bei zu starker Enthärtung die Ausbildung von schützenden Deckschichten insbesondere bei verzinkten Leitungen unterbleiben. Verschiedentlich wurden auch schon Schäden an kupferhaltigen Werkstoffen festgestellt, weil der pH-Wert bei der Wasserenthärtung mit Kationentauschern deutlich in den sauren Bereich (pH-Werte von 4–5) verschoben wurde. Im Weiteren sind Fälle bekannt, wo an Installationen aus nichtrostendem Stahl Korrosionserscheinungen initiiert wurden, weil nach der Regeneration von Ionentauscherpatronen mit konzentrierter Natriumchloridlösung die kritische Chloridkonzentration infolge unzureichender Spülung zeitweise überschritten wurde. Die einmal initiierte Korrosion kam dabei auch beim Absinken des Chloridgehalts auf „normale“ Werte nicht zum Stillstand. Heizungswasser und Kühlkreisläufen werden teilweise Inhibitoren zugesetzt, um die Korrosion insbesondere von C-Stahl-Rohren bei Sauerstoffzutritt ins System zu verhindern. Viele dieser Produkte beeinflussen nur die anodische oder die kathodische Teilreaktion des Korrosionsprozesses. Insbesondere bei passivierend (oxidierend) wirkenden Inhibitoren besteht bei Unterdosierung die Gefahr, dass bei weitgehend passivierter Oberfläche kleine aktive Bereiche vorhanden sind, was häufig zu lochfraßartigen Angriffen mit hohen lokalen Angriffsgeschwindigkeiten führt. Die Unterdosierung



Bild 25 Typischer kraterförmiger Korrosionsangriff an erdverlegter Stahlleitung infolge Einwirkung von Gleichströmen

kann dabei sowohl durch ungenügende Kontrolle der Inhibitordosierung als auch durch lokal erschwerten Zutritt des Inhibitors (z. B. unter Schmutz- oder Rostablagerungen) zustande kommen.

Einwirkung von Gleichströmen

Gleichströme aus Makroelementen oder Gleichstromanlagen (Streuströme) sind häufige Ursachen von Schäden an metallenen Leitungen. Bei Wasser und Gasleitungen wird erfahrungsgemäss das größte Schadenpotenzial durch das Makroelement zwischen den erdverlegten Leitungsabschnitten (Guss oder Stahl) und der Bewehrung von Stahlbetonbauwerken verursacht (Bild 7). Infolge der Differenz der Korrosionspotenziale des Bewehrungsstahls und einer im Erdreich befindlichen Stahl- oder Gussleitung, welche typischerweise 0,3 bis 0,5 V beträgt, fließt beim Zusammenschluss der beiden Strukturen, welcher über gezielte Potenzialausgleichsverbindungen oder zufällige Kontakte (z. B. über Befestigungen) zustande kommt, ein für die erdverlegte Leitung korrosiv wirkender Makroelementstrom. Dieser liegt bei Einfamilienhäusern in der Größenordnung von 50 mA, bei Mehrfamilienhäusern und Gewerbekomplexen beträgt er häufig über 200 mA. Die an den Stromaustrittsstellen von der metallenen Rohrleitung in den Erdboden aufgelöste Metallmenge ist gemäss dem Faradayschen Gesetz dem im Makroelement fließenden Strom direkt proportional. An Stahlleitungen erfolgt beispielsweise pro mA eine jährliche Eisenauflösung von 9,13 g, was einem Volumen von 1,16 cm³ entspricht. Während der beschriebene Korrosionsmechanismus bei erdverlegten Leitungen, wo ein sehr großes Elektrolytvolumen zur Verfügung steht, sehr ausgeprägt ist und Korrosionsraten von 0,5 bis 2 mm/Jahr keine Seltenheit sind, wird die Reichweite von galvanischen Elementen im Rohrrinnern durch den Widerstand der Flüssigkeitssäule räumlich beschränkt und somit das Ausmaß der Korrosionsangriffe reduziert. Für Trinkwasser und kleinere Rohrdurchmesser, wie sie in Hausinstallationen üblich sind, kann als Faustregel davon ausgegangen werden, dass die wirksame Länge der Kathode auf etwa 5-mal den Rohrdurchmesser beschränkt ist. Allerdings ist zu beachten, dass in Makroelementen lokale Anoden stabilisiert werden und somit eine deutlich erhöhte Tendenz zur Bildung lokaler Korrosionsangriffe, wie sie für passive Metalle typisch sind, besteht (Bild 25). Auf metallenen Rohrleitungen fließende Streuströme von „fremden“ Gleichstromanlagen (z. B. von Gleichstrombahnen (Bild 8) verur-

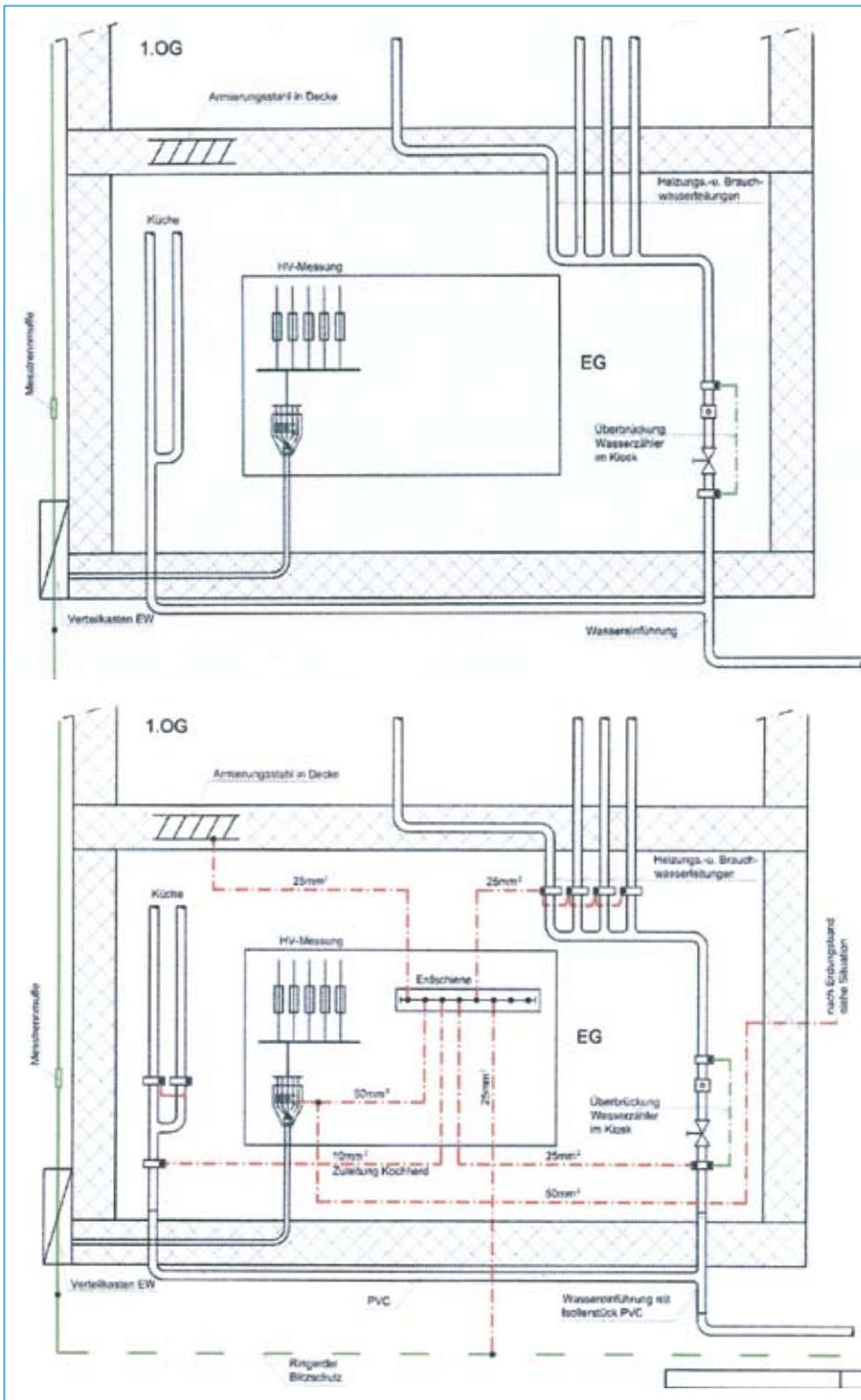


Bild 26 Einwirkung von Streuströmen innerhalb von Gebäuden
 oben: Streuströmfluss über Wasserleitung, Stromaustritt und Innenkorrosion bei hochohmiger Muffenverbindung
 unten: Streuströmfluss erfolgt über niederohmige Potenzialausgleichsverbindungen, keine Schäden an Wasserleitung

sachen im Prinzip die gleichen Korrosionsphänomene wie die vorher beschriebenen Makroelementströme. Es soll hier aber nochmals darauf hingewiesen werden, dass ein

Stromfluss in der Rohrleitung allein noch nicht zu Korrosion führt. Erst wenn der Strom vom metallischen Leiter in einen Ionenleiter austritt, erfolgt die anodische Reaktion der

Metallauflösung. In Gebäuden, wo die Leitungen keinen Kontakt zum Erdbreich aufweisen und nicht eingetaucht sind, ist ein zu Korrosion führender Stromaustritt aus dem Metall in der Regel nur dann möglich, wenn Unterbrüche in der Längsleitfähigkeit der Leitung (z. B. isolierende oder hochohmige Muffenverbindungen) vorhanden sind und kein deutlich niederohmigerer Weg für den Strom (z. B. über Potenzialausgleichsverbindungen oder die Bewehrung des Gebäudes) zur Verfügung steht (Bild 26). Dies ist der Grund, dass streustrombedingte Korrosionsschäden innerhalb von Gebäuden zwar möglich, aber selten und als Ausnahmefälle zu betrachten sind.

Korrosionsschäden an metallenen Leitungen sind nur selten auf schlechtes Material oder die Aggressivität des (unbehandelten) Mediums an sich zurückzuführen. Meist ist deren Ursache in einer Kombination von verschiedenen ungünstig wirkenden Faktoren aus Planung, Dimensionierung, Ausführung und Betrieb sowie externen Einflüssen zu suchen, wobei spezifische Eigenschaften des angreifenden Mediums zu einer Verstärkung der Effekte führen können, respektive dafür verantwortlich sind, dass die Korrosion nicht „wie im gewohnten Maß gebremst“ wird. Bei bevorstehenden Instandsetzungen und Erneuerungen von Rohrleitungen ist es wichtig, die Ursachen der aufgetretenen Probleme genauer abzuklären und mögliche Auswirkungen von Änderungen auf das bestehende System zu prüfen. Ebenso wichtig ist es aber auch, für eine sorgfältige Verarbeitung und ausreichende Qualitätssicherung bei den Instandsetzungsarbeiten zu sorgen.



Unser Autor **Dr. Daniel Bindschedler** ist stellvertretender Geschäftsführer der schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz in Zürich (SGK). Sein Tätigkeitsfeld umfasst Schwerpunkte wie

die messtechnische Erfassung des Korrosionszustandes, Untersuchung von Schadenfällen, Überwachung von Korrosionsschutz-Anlagen, Korrosionstechnische Überwachung von Bauwerken und die Beratung in Korrosionsschutzfragen. CH-8005 Zürich, Telefon +41 (0) 4 44 45 15 93, Telefax +41 (0) 44 2 73 04 33, E-Mail: daniel.bindschedler@sgk.ch