

- [4] Treumann, H.: Die gegenwärtigen Voraussetzungen für den Handel und die Verwendung pyrotechnischer Gegenstände in der Bundesrepublik Deutschland – eine vergleichende Betrachtung mit Modellen für die Zugangsvoraussetzungen zum Gemeinsamen Europäischen Binnenmarkt –; Beitrag in: Proceedings of the 15. Congreso Europeo De Pirotecnia of the Association Européenne de Pyrotechnie, Puerto de la Cruz, Tenerife, Spanien, 7.-12. November 1989
- [5] Bekanntmachung der Prüfvorschriften für Sprengstoffe, Zündmittel, Sprengzubehör sowie pyrotechnische Gegenstände und deren Sätze vom 12. März 1982 (Beilage Nr. 13/82 zum BAnz. Nr. 59 vom 26. März 1982)
- [6] Berghaus, H.: Normung in der Bundesrepublik Deutschland – Tradition und Wandel; „schadenprisma“ Heft 3/90 S. 56–58
- [7] Europäische Normen für 1992 – Ein Leitfaden des DIN. Berlin 1989; unveränd. Nachdruck
- [8] DIN EN 268: Treibladungspulver für Handelsmunition; Anforderungen und Prüfverfahren
- [9] Treumann, H.: Die Prüfung pyrotechnischer Sätze und Gegenstände. Laubach: Eigenverlag der Berufsgenossen-
- schaft der chemischen Industrie, 1982, 86 Seiten
- [10] 89/106/EWG: Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 40/12 vom 11. Februar 1989.

*Dr. rer. nat. Hartwig Treumann und
Dr. rer. nat. Norbert Pfeil,
Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung,
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45*

Einfluß der Aufbereitung auf das Korrosionsverhalten von Trinkwasser

Otto Wollrab, Heidrun Dobberstein

1. Einleitung

Obwohl es den Anforderungen nach DIN 2000¹⁾ und der Trinkwasser-Verordnung (Trinkw.V)²⁾ entspricht, zeichnet sich vielerorts das in die Hausinstallationen eingespeiste Wasser durch eine Beschaffenheit aus, die bei Anwesenheit von Korrosionselementen den lokal verstärkten Werkstoffangriff begünstigt. Es handelt sich dabei um materialspezifische Begünstigungen, die sich in der Regel aus unterschiedlichen Relationen der Mineralsäure- zu den hydrogencarbonatbezogenen Kationen ableiten. Die Reaktionen des Werkstoffangriffs sind darüber hinaus in relativ eng umgrenztem Rahmen vom Gehalt an gelöstem Kohlenstoffdioxid (Kohlensäure) und der Temperatur abhängig. Ihre Folge ist Loch- bzw. Muldenfraß.

Lokal verstärkte Korrosionen in derartigen Wässern stellen Störungen der gleichmäßigen Deckschichtbildung bzw. Zerstörungen bestehender Deckschichten dar. Ihr Auftreten steht grundsätzlich in Zusammenhang mit dem gleichzeitigen Zusammentreffen mehrerer Faktoren. Für Loch- und Muldenkorrosion gelten dabei in jedem Fall die Parameter: Elektrolyt, Sauerstoff und auslösende Korrosionselemente. Als Korrosionselemente kommen in starkem Maße Ablagerungen jeder Art in Frage, wobei sich bevorzugt Belüftungselemente (Evans-Elemente) oder vergleichbare Korrosionsmechanismen (Lucey-Elemente) bilden.

Die Aufgabe des Rohrnetzes und der Hausinstallationen ist der Transport von

Wasser. Die Qualität der zu ihrer Herstellung verwendeten Werkstoffe und Materialien hat sich also der Wasserbeschaffenheit anzupassen. Das gilt in besonderem Maße, wenn die Wasserqualität den einschlägigen Anforderungen entspricht. Die derzeit in der Hausinstallation verwendeten metallenen Werkstoffe Kupfer, verzinkter Stahl und nichtrostender Stahl werden, gemäß dem Stand des Wissens, diesen Voraussetzungen gerecht. Das Korrosionsrisiko bei Neuinstallationen dürfte also, bei entsprechender Berücksichtigung der einschlägigen Verarbeitungsrichtlinien und Betriebsbedingungen, auf ein Minimum reduziert worden sein.

Ein permanentes Risiko besteht jedoch nach wie vor bei der Mehrzahl der bereits betriebenen Altinstallationen. Dabei kann die Korrosionsgefahr durch Aktivierung latent vorhandener passiver Angriffsstellen – der aus Störungen der Deckschichtbildung resultierende Lochfraß ist irreversibel, die ursächliche Lochkorrosion vielfach nur passiviert – insbesondere durch Veränderung der Wasserbeschaffenheit sprunghaft in die Höhe schnellen. Als Beispiele solcher Aktivierung wären dabei natürliche Veränderungen des Wassers³⁾ in Betracht zu ziehen, Anpassen der Wasserbeschaffenheit an einschlägige Qualitätsanforderungen, Versorgung aus neu errichteten Wasserwerken, Mischwasserversorgung als Folge steigenden Bedarfs u.v.a.

Es handelt sich also um Korrosionsbegünstigungen, die zum Zeitpunkt der Errichtung der betroffenen Installationen noch nicht vorhanden waren, auslösende Faktoren lassen sich daher nicht erkennen. In Fällen, bei denen der Pro-

zeß der Lochkorrosion erst zu einem späteren Zeitpunkt aktiviert wird, sind entsprechende Optimierungen der Aufbereitungsmaßnahmen in Erwägung zu ziehen. Dabei ist jedoch das Korrosionsverhalten sämtlicher im jeweiligen Versorgungsbereich verwendeter Werkstoffe zu berücksichtigen; das Risiko eines Werkstoffes kann nicht auf Kosten eines anderen vermindert werden. Das gleiche gilt aber auch für die jeweiligen Betriebsbedingungen; Minderungen von Schäden im Bereich der Warmwasserversorgung dürfen nicht zu Schäden im Kaltwasserbereich führen. Ferner sind die Anforderungen nach DIN 2000 und der Trinkw.V zu berücksichtigen. Derartige Maßnahmen sollten daher, auch unter dem Aspekt der Wartung und Kontrolle, zentral dem Versorgungsunternehmen vorbehalten bleiben und nur in Ausnahmefällen vom Verbraucher vorgenommen werden. Aus Gewährleistungsgründen ist gegebenenfalls vorher auch die Zustimmung der Rohrhersteller einzuholen.

Die Optimierung der Wasseraufbereitung setzt daher genaue Kenntnis der Wasserbeschaffenheit, einschließlich natürlicher Schwankungen und solcher, die aus Vermischen unterschiedlichen Wassers resultieren, voraus. Nicht nur durch falsche Maßnahmen kann das Auftreten von Schäden begünstigt werden, sondern auch durch unvollständig durchgeführte. Eine Maßnahme darf andererseits aber auch nicht so weit vorangetrieben werden, daß dem Wasser seine Fähigkeit, auf metallenen Rohrleitungen schützende Deckschichten zu bilden, verloren geht. Wichtig ist deshalb die genaue Kenntnis der korrosions-

relevanten Parameter des Wassers und deren Einfluß auf alle im Rohrnetz und in den Hausinstallationen vorkommenden Werkstoffe.

2. Beurteilung der Korrosionsbegünstigung durch Wasser anhand von korrosionsrelevanten Parametern

2.1 Eisenwerkstoffe

Nach DIN 50930 ergibt sich bei unlegierten Eisenwerkstoffen⁴⁾ ein erhöhtes Risiko für Loch- und Muldenkorrosion, wenn der Quotient aus der Summe der molaren Konzentration des doppelten Sulfat- und des Chloridgehalts, dividiert durch den Hydrogencarbonatgehalt > 1 ist:

$$Q = \frac{c(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})}{K_{S\ 4,3}}$$

Bei verzinktem Stahl⁵⁾ erhöht sich das Risiko für Muldenkorrosion, wenn der entsprechende Quotient aus der Summe des halben Sulfat- und des Chloridgehalts, dividiert durch den Hydrogencarbonatgehalt > 3 ist:

$$Q = \frac{c(\text{Cl}^-) + c(1/2 \text{SO}_4^{2-})}{K_{S\ 4,3}}$$

Es ist also für diese Werkstoffe auch eine Abhängigkeit der lokal verstärkten Korrosion vom Hydrogencarbonatgehalt gegeben.

Bei nichtrostenden Stählen⁶⁾ liegt keine Abhängigkeit der Lochkorrosion vom Gehalt des Hydrogencarbonats vor. Stattdessen ist für molybdänfreien Stahl ein erhöhtes Korrosionsrisiko bei einem Chloridgehalt > 6 mol/m³ zu berücksichtigen.

2.2 Kupfer

2.2.1 Trinkwasser

Bei Trinkwasserinstallationen aus Kupfer ist eine Begünstigung von Loch- oder Muldenkorrosion gegeben, wenn sich der Quotient aus der molaren Konzentration der Mineralsäure- dividiert

durch die hydrogencarbonatbezogenen Erdalkalien (mineralsäurebezogene Erdalkalien = Summe von Calcium- und Magnesiumchlorid, -sulfat und -nitrat, früher = Nichtcarbonathärte) in einer Größenordnung von 0,15 bis 2,0 bewegt, wobei sich der derart errechnete Korrosionsquotient (Q_S) auf die jeweilige Sättigungstemperatur bezieht.⁷⁾ Über den Sättigungsindex⁸⁾ läßt sich darüber hinaus der Korrosionsquotient (Q_R) für die jeweilige Betriebstemperatur und über den Alkaligehalt des Wassers der maximal mögliche Korrosionsquotient (Q_{\max}) errechnen.

$$Q_S = \frac{2c(\Sigma \text{Erdalkali})}{c(\text{HCO}_3^-)} - 1$$

$$Q_R = \frac{2c(\text{Ca}_i^{2+} + \text{Mg}_r^{2+})}{c(\text{HCO}_3^-)} - 1$$

$$Q_{\max} = \frac{2c(\Sigma \text{Erdalkali}) + c(\text{Alkali})}{c(\text{HCO}_3^-)} - 1$$

Errechnet sich $Q_R > Q_{\max}$, liegt eine Übersäuerung des Wassers vor und es kann, selbst wenn Q_S sich im Bereich 0,15 bis 2,0 befindet, keine lokal verstärkte Korrosion einsetzen. Andererseits läßt sich auf der Basis des unteren ($Q = 0,15$) und des maximal möglichen Grenzwertes (Q_{\max}) die Temperaturspanne berechnen, bei der lokal verstärkte Korrosion in dem jeweiligen Wasser aufzutreten in der Lage ist.

Vieles spricht dafür, daß das für Kupfer angewandte vorgenannte Berechnungsverfahren, einschließlich der sich daraus ergebenden Abhängigkeit von der Calciumcarbonatsättigung (SI), dem Alkaligehalt (Q_{\max}) und der Temperatur (Q_R), auch für die unter 2.1 aufgeführten unlegierten Eisenwerkstoffe und für verzinkten Stahl anwendbar ist. Unter Berücksichtigung der Aussagen nach DIN 50930 Teil 3 ist dabei ein Quotient in der Größenordnung der oberen Korrosionsgrenze von Kupfer bzw. oberhalb davon zu erwarten.

2.2.2 Erwärmtes Trinkwasser

Zur Abrundung der Thematik soll auf die Lochkorrosion (Typ II) in Installationen für erwärmtes Trinkwasser aus Kupfer⁹⁾ eingegangen werden. Das Auftreten dieser Korrosionsform steht bevorzugt in Zusammenhang mit dem Redoxpotential verschiedener im Wasser gegebenenfalls vorkommender Verbindungen wie Rost (Eisen-III-oxidhydrat) oder Braunstein (Mangandioxid). Dieser auf Ionenumladung (Pseudolokalelement) zurückzuführende Werkstoffangriff setzt eine deutlich saure Reaktion

des Wassers voraus (verminderte Schutzschichtbildung), d. h., es handelt sich um Wasser, bei dem mindestens ein Parameter nicht den einschlägigen Anforderungen an Trinkwasser entspricht. Darüber hinaus liegt ein erhöhtes Risiko bei einem Molverhältnis Hydrogencarbonat: Sulfat < 2 vor:

$$Q = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{SO}_4^{2-})}$$

3. Optimierung der Wasseraufbereitungs- bzw. -konditionierungsverfahren unter Berücksichtigung der Korrosionsquotienten

3.1 Kriterien für die Wasseraufbereitung

Aufgrund der Abhängigkeit des auf die jeweilige reale Betriebstemperatur bezogenen Korrosionsquotienten (Q_R) von den Gehalten an Hydrogencarbonat ($K_{S\ 4,3}$) und gelöstem freien Kohlenstoffdioxid ($K_{B\ 8,2}$), basieren, mit einer Ausnahme, sämtliche nachfolgend diskutierten Aufbereitungs- und Konditionierungsverfahren auf der Veränderung eines oder beider dieser korrosionsrelevanten Parameter. Darüber hinaus können die Verfahren mit Veränderungen der Erdalkali- und Alkaligehalte in Zusammenhang stehen. Grundsätzlich haben die Verringerung der $K_{B\ 8,2}$ sowie die Erhöhung der $K_{S\ 4,3}$ eine Verkleinerung von Q_R zur Folge. Gleiches gilt für Temperaturerhöhungen.

Am leichtesten gestaltet sich daher aufgrund der vorstehend diskutierten korrosionstechnischen Zusammenhänge die Problemlösung bei Kupferrohr-Trinkwasserinstallationen. Einerseits ist hier der Wissensstand am umfangreichsten und andererseits bestehen die Möglichkeiten einer Veränderung der Wasserbeschaffenheit sowohl in Richtung $Q < 0,15$ als auch in Richtung $Q > 2,0$. Auch für den Bereich des erwärmten Trinkwassers ist bei Kupfer keine Schwierigkeit erkennbar, und bei den wenigen Fällen einer Korrosionsbegünstigung in molybdänfreien Edelstahlrohren bieten sich spezielle Maßnahmen an. Wesentlich schlechter sieht es dagegen bei unlegierten Eisenwerkstoffen und verzinktem Stahl aus. Es fehlt bislang eine dem Kupfer vergleichbare Berechnungs- und Beurteilungsgrundlage, und selbst wenn diesbezügliche Grenzwerte ermittelt worden sein

sollten oder wenn die Grenzwerte nach DIN 50930⁴⁾⁵⁾ angewandt würden, besteht immer nur die Möglichkeit durch Verkleinern der Korrosionsquotienten eine Problemlösung zu schaffen. Mit derartigen Maßnahmen besteht jedoch verstärkt die Gefahr einer gesteigerten Korrosionsbegünstigung bei Trinkwasserinstallationen aus Kupfer.

3.2 Die Aufbereitung

Folgende Aufbereitungs- und Konditionierungsverfahren werden diskutiert:

Verkleinern von Q_R

- Belüften und Filtrieren über Kies
- Belüften und Filtrieren über Dolomit, Marmor u.ä.
- Zusatz von Natronlauge, Natriumcarbonat u.ä.
- Zusatz von Natriumhydrogencarbonat
- Zusatz von Phosphat und/oder Silikat
- Behandlung mit Kationentauschern und Zusatz von Natronlauge u.ä.

Vergrößern von Q_R

- Belüften, Zusatz von Calciumhydroxid, Filtrieren über Kies
- Zusatz von Salz- und Schwefelsäure
- Zusatz von Flockungsmitteln (Aluminium- und Eisen-II-sulfat sowie Eisen-III-chlorid).

Begünstigen von Passivreaktionen

- Behandlung mit Anionentauschern.

- Belüften und Filtrieren über Kies

Bereits das klassische Aufbereitungsverfahren durch Belüften des Rohwassers zum Ausfällen von Eisen- und Mangverbindungen führt aufgrund des gleichzeitig damit verbundenen Austreibens von überschüssigen freien Kohlenstoffdioxids zu einer Verkleinerung des realen Korrosionsquotienten (Q_R). Bewegen sich dabei die werkstoffspezifischen Sättigungsquotienten (Q_S) im kritischen Bereich, kann es zu einer Begünstigung lokal verstärkter Korrosion führen, sofern der jeweils maximal mögliche Korrosionsquotient (Q_{max}) unterschritten wird. Das gleiche gilt, wenn die Entsäuerung des Wassers nicht bis zur Calciumcarbonatsättigung vorgenommen wird und sich der Q_S unterhalb des jeweiligen kritischen Bereiches befindet, wobei auch hier $Q_R < Q_{max}$ sein muß. Insbesondere bei einer offenen Behälterbevorratung, vielfach aber auch im Rohrnetz, kann das Wasser grundsätzlich durch weitere Ausgasung und/oder Zehrung von Kohlenstoffdioxid eine weitere Absenkung des Sättigungsquotienten erfahren, unabhängig davon, welche Aufbereitungsverfahren im einzelnen

angewandt wurden. In Hausinstallationen wird dieser Prozeß zusätzlich durch die Anpassung der Wasser- an die Gebäudeinnentemperatur verstärkt.

Eine Veränderung von Q_S und Q_{max} erfolgt weder durch das o.a. Aufbereitungsverfahren noch durch Vorratshaltung, Transport oder Temperatureausgleich.

- Belüften und Filtrieren über Dolomit, Marmor, o.ä.

Hier handelt es sich um eine Modifikation des vorgenannten Verfahrens, das angewandt wird, wenn Wasser mit geringerem Erdalkaligehalt (weiches bis mittelhartes Wasser) nicht ausreichend entsäuert werden kann. Anstatt über Kies erfolgt die Filtration des belüfteten Wassers dabei über halbgebrannten Dolomitkalk ($CaCO_3, MgO$), Marmor ($CaCO_3$) oder adäquate Filtermassen. Es erfährt als Nebeneffekt der Entsäuerung eine Zunahme an Erdalkalien (Aufhärtung) und Hydrogencarbonat (K_S 4,3). Sämtliche Korrosionsquotienten (Q_S , Q_R und Q_{max}) werden verkleinert. Bei Eisen und verzinktem Stahl kann durch diese Maßnahme bei ursprünglich kritischem Q_S der Grenzwert unterschritten werden, das gleiche gilt in Zusammenhang mit der Entsäuerung für Kupfer-WW. Bei Kupfer-KW kann bei Vorliegen eines hohen Quotienten durch Unterschreiten des oberen Grenzwertes das Korrosionsrisiko erhöht, bei Vorliegen eines kritischen Quotienten durch Unterschreiten des unteren Grenzwertes jedoch verringert werden.

Es sind die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung für Calcium ($400 \text{ mg } Ca^{2+}/l \cong 10 \text{ mol}/m^3$) und für Magnesium ($50 \text{ mg } Mg^{2+}/l \cong 2,05 \text{ mol}/m^3$) zu beachten.

- Zusatz von Natronlauge, Natriumcarbonat u. ä.

Wird bei einem Wasser mit hohem Erdalkaligehalt (hartes bis sehr hartes Wasser) durch die Filtration über Kies keine ausreichende Entsäuerung erzielt, oder handelt es sich um Wasser, dessen Beschaffenheit keiner Belüftung und Filtration bedarf, kann überschüssiges Kohlenstoffdioxid mittels Natronlauge oder Natriumcarbonat (Soda) zu Hydrogencarbonat neutralisiert werden. Dabei besitzt Natronlauge einen größeren Neutralisationseffekt, während Natriumcarbonat den K_S 4,3-Wert wirkungsvoller zu steigern vermag. Bei Verwendung von Natriumcarbonat ist allerdings zu berücksichtigen, daß dieses Salz in größeren Konzentrationen, wie es diesbezüglich für Impflösungen erforderlich wird, bei Temperaturen $< 10^\circ C$ in verstärktem Maße auskristallisieren und somit zum Ausfall der Impfmehanismen führen kann. Abhilfe läßt sich durch

Phosphatzusatz bewirken (siehe auch Abschnitt e). Ferner besteht bei diesem Verfahren der Konditionierung sehr leicht die Gefahr einer Überdosierung, was unter Berücksichtigung des hohen Erdalkaligehalts zwangsläufig zu verstärkten Härteauscheidungen bei Temperaturerhöhungen führt. Abhilfe ist ebenfalls durch entsprechende Phosphatdosierung zu schaffen.

Auch bei dieser Aufbereitungsmethode werden sämtliche Korrosionsquotienten (Q_S , Q_R und Q_{max}) verkleinert, wobei sich dieser Effekt, da dem Wasser kein weiteres Erdalkali zugesetzt wird, bevorzugt auf die Größenordnung des Q_S auswirkt, aber auch der Q_{max} wird, trotz Alkalizusatzes, deutlich verkleinert.

Die Auswirkung auf das Korrosionsverhalten bei den einzelnen Metallen und Betriebsbedingungen ist vergleichbar mit der unter Abschnitt b) beschriebenen. Der hier vorliegende Alkalizusatz erlaubt jedoch eine wesentlich stärkere Absenkung der Korrosionsquotienten als dies bei einem entsprechenden Erdalkalizusatz möglich ist. Die Grenzwerte für Natrium (Trinkw.V: $150 \text{ mg } Na^+/l \cong 6,53 \text{ mol}/m^3$) und gegebenenfalls für Phosphat ($6,7 \text{ mg } PO_4/l \cong 70 \text{ mmol}/m^3$) sind zu berücksichtigen.

- Zusatz von Natriumhydrogencarbonat

Zeichnet sich ein weitgehend mit Calciumcarbonat gesättigtes Wasser durch ein Mineralsäure/Hydrogencarbonat-Verhältnis aus, das bei irgendeinem Werkstoff eine Begünstigung von lokal verstärkter Korrosion erwarten läßt, sind neutralisierende Maßnahmen, gleich welcher Art, nicht angebracht. Das gilt insbesondere bei Wasser mit erhöhtem Calciumgehalt, da sich durch die Neutralisation die Tendenz zu Härteabscheidungen drastisch erhöht. In solchen Fällen ist eine indirekte Entsäuerung durch Zusatz von Natriumhydrogencarbonat zu diskutieren. Durch diese Maßnahme wird einerseits die Säurekapazität (K_S 4,3) erhöht und damit verbunden werden sämtliche Korrosionsquotienten (Q_S , Q_R und Q_{max}) verkleinert, andererseits wird aber auch der Sättigungs-pH-Wert mehr oder weniger deutlich abgesenkt und somit eventuell vorhandenes überschüssiges Kohlenstoffdioxid eliminiert. In Grenzfällen kann aber auch hier ein Phosphatzusatz erforderlich werden (siehe auch Abschnitt e).

Die Grenzwerte für Natrium und gegebenenfalls Phosphat sind zu berücksichtigen. Die Einhaltung des unteren Korrosions-Grenzwertes von 0,15 (Kupfer) bei diesen Aufbereitungsverfahren ist die Gewähr dafür, daß die Voraussetzung $2 K_S 4,3 < \Sigma$ Erdalkalien nicht überschritten wird.

e) Zusatz von Phosphat und/oder Silikat

Eines der am häufigsten angewendeten Verfahren zur Optimierung der Wasseraufbereitung ist das Impfen mit Phosphaten und/oder Silikat. Es handelt sich dabei um Mono-, Di- und Tri-Natriumorthophosphat sowie Natriumtripolyphosphat und in Ausnahmefällen, bei Verkrustungen der Rohrleitungen durch ausgeschiedene Erdalkalicarbonate, Natriumhexametaphosphat. Dabei reagieren die auch als Gemisch angewandten Orthophosphate und das Polyphosphat (hydrolysiert zu Orthophosphat) in wäßriger Lösung, je nach Natriumgehalt, von neutral bis alkalisch, das Hexametaphosphat (hydrolysiert u. a. zu Orthophosphorsäure-Kontrolle des Wirkungsgrades!) sauer. Silikate werden in Form von Natriummetasilikat angewandt. Das Salz bedarf zur Stabilisierung eines OH-Ionen-Überschusses, seine wäßrige Lösung reagiert demzufolge deutlich alkalisch. Silikate werden bevorzugt im Gemisch mit Orthophosphaten eingesetzt.

Die Wirkungsweise von Phosphaten ist vielfältig. Während Hexametaphosphat bevorzugt zum Beseitigen von Erdalkalicarbonatverkrustungen in Rohrleitungen eingesetzt wird, dient der Einsatz von Orthophosphaten und Silikat einer Begünstigung und Beschleunigung der schützenden Deckschichtbildung. Tripolyphosphat soll insbesondere im Bereich des erwärmten Trinkwassers einerseits Erdalkalicarbonatausscheidungen verhindern (Threshold-Effekt) und andererseits, nach erfolgter Hydrolyse zu Orthophosphat, eine amorphe Phosphatausscheidung bewirken und somit eine Krustenbildung vermeiden. Darüber hinaus soll es insbesondere im Trinkwasserbereich bei bereits eingetretener lokal verstärkter Korrosion u. a. durch Abbau der überdeckenden Korrosionsprodukte (komplexes Lösungsvermögen) den Werkstoffangriff stoppen.

Während die Beteiligung der Orthophosphate und des Silikats an der Deckschichtbildung nachweisbar und auch der Threshold-Effekt bzw. die Vermeidung der Krustenbildung durch Tripolyphosphat unbestritten ist, wird eine korrosionsstoppende Wirkung insbesondere bei Kupfer, trotz gelegentlicher Erfolge, in Zweifel gezogen.

Die Ursache hierfür ist offensichtlich in der unterschiedlich hohen Alkalität der einzelnen Salze bzw. ihrer Gemische begründet. Sie zieht zwangsläufig mit der Phosphat/Silikatdosierung eine mehr oder weniger deutliche Neutralisation des im Wasser gelösten Kohlenstoffdioxids (siehe Abschnitt c), zumindest aber eine Anhebung der Säurekapazität (siehe Abschnitt d) nach sich. Die Folge ist eine Verkleinerung sämtlicher auf Kupfer bezogenen Korrosionsquotien-

ten (Q_S , Q_R , Q_{max}). Bei Einsatz in Fällen von Lochkorrosion in Trinkwasserinstallationen ist deshalb nicht auszuschließen, daß der untere kritische Grenzwert unterschritten wird, und die Korrosionsmechanismen auf diese Weise zum Stillstand kommen. Es sind aber auch Fälle bekannt, bei denen diesbezügliche Impfmaßnahmen lokal verstärkten Werkstoffangriff begünstigt haben, weil der obere kritische Grenzwert unterschritten wurde.

Bei derartigen Konditionierungen sind die Grenzwerte für Natrium und Phosphat zu beachten.

f) Behandlung mit Kationentauschern mit anschließendem Zusatz von Natronlauge bzw. Natriumcarbonat

Bei diesem Verfahren werden die Erdalkalimetalle Calcium und Magnesium gegen Natrium ausgetauscht. Dabei wird zunächst ein Totalaustausch vorgenommen und anschließend mit Originalwasser verschnitten, in der Regel auf einen Erdalkaligehalt von ca. $1,4 \text{ mol/m}^3$. Ein dem ausgetauschten Calcium adäquater Gehalt der ursprünglichen Sättigungskohlensäure wird überschüssig.

Als Folge dieser Maßnahme wird der Korrosionsquotient für die Sättigungstemperatur (Q_S) abgesenkt, teilweise sogar in eine negative Größenordnung. Die Quotienten für Realtemperaturen (Q_R) erfahren jedoch nur eine dem ausgetauschten Magnesium äquivalente Absenkung (Magnesiumhydrogencarbonat bedarf zu seiner Lösung keiner Sättigungskohlensäure) und der maximal mögliche Korrosionsquotient (Q_{max}) bleibt unverändert. Eine gravierende Absenkung in den unkritischen Bereich läßt sich für Q_R also nur durch gleichzeitige Neutralisation der überschüssig gewordenen Kohlensäure mit Natronlauge bzw. Natriumcarbonat erreichen. Durch den damit verbundenen Anstieg der Säurekapazität wird gleichzeitig auch der Q_{max} entsprechend abgesenkt.

Der Anwendungsbereich des Verfahrens dürfte in erster Linie bei Wasser mit hohem Erdalkaligehalt zu sehen sein, wobei in der Regel gravierende Absenkungen der Korrosionsquotienten, selbst aus dem Bereich verzinkter Stahlrohre, bis unterhalb des kritischen Wertes bei Kupfer ermöglicht werden. Nach § 5.4 der Trinkw.V darf jedoch der Unternehmer oder sonstige Inhaber von Wasserversorgungsanlagen nach § 8.1 durch Ionenaustauscher nur enthärten, wenn dabei der Gehalt der Natriumionen im Trinkwasser nicht erhöht wird. Der Einsatz vorgenannter Anlagen bleibt also Eigenversorgungsanlagen und privaten Hausinstallationen (§ 8.2 und 3) vorbehalten.

Beim Regenerieren des Austauschcharzes fallen darüber hinaus erhebliche Mengen hochkonzentrierte Calcium- und Magnesiumchloridlösung an. Sie stellen eine nicht unerhebliche Umweltbelastung beim Einleiten in die Schmutzwasserentsorgung dar.

g) Belüften, Zusatz von Calciumhydroxyd, Filtrieren über Kies

Hatten die vorgenannten Aufbereitungs- und Konditionierungsverfahren ausnahmslos eine Verkleinerung der Korrosionsquotienten zur Folge, bewirken die nachfolgenden drei Verfahren eine Vergrößerung.

Die vorliegend beschriebene Methode basiert auf Reaktionen von Hydratkalk mit überschüssigem Kohlenstoffdioxid (Neutralisationseffekt, siehe Abschnitt b), mit Sättigungskohlensäure und mit Calciumhydrogencarbonat. Als Reaktionsendprodukt wird unlösliches Calciumcarbonat erhalten, das ausfällt und abgeschlämmt bzw. abfiltriert wird. Es wird eine der Aufbereitungstemperatur entsprechende Calciumcarbonatsättigung mit deutlicher pH-Wert-Anhebung erreicht. Dabei wird die Reduzierung des Hydrogencarbonats so weit vorgenommen, daß als Folge zwangsläufiger Erwärmung in den Hausinstallationen Erdalkaliausfällungen weitgehend unterbleiben, andererseits aber trotzdem noch die Deckschichtbildung gewährleistet ist. Das Verfahren ist bevorzugt bei Wasser mit sehr hohem Erdalkali-Hydrogencarbonatgehalt anwendbar.

Sämtliche Korrosionsquotienten (Q_S , Q_R und Q_{max}) erfahren eine deutliche Anhebung. Dabei wird in der Regel hinsichtlich der Lochkorrosion in Trinkwasserinstallationen aus Kupfer der obere kritische Grenzwert überschritten, wodurch der Werkstoffangriff bemerkenswert schnell zum Stillstand kommt. Selbst wenn im Falle einer Erwärmung dieser Grenzwert durch den Q_R wieder unterschritten wird, ist mangels ausreichendem Hydrogencarbonatgehaltes keine Lochkorrosion zu befürchten⁷⁾. Bei verzinktem Stahl, insbesondere aber bei unlegierten Eisenwerkstoffen, kann bei Überschreiten der kritischen Grenzwerte bei Trinkwasser lokal verstärkte Korrosion die Folge sein.

h) Zusatz von Salz- und Schwefelsäure

Ergeben sich bei Wässern mit hohem, überwiegend Erdalkalihydrogencarbonatgehalt Probleme beim Einstellen der Calciumcarbonatsättigung, d. h., tendiert das Wasser bereits bei niedrigen Temperaturen in starkem Maße zu Kalkausscheidungen, läßt sich durch Dosieren von Salz- oder Schwefelsäure über eine pH-Wert-Absenkung eine Stabilisierung herbeiführen. Durch diese Maßnahme

wird einerseits der Mineralsäureanteil der Anionen erhöht, andererseits aber der Hydrogencarbonatanteil (K_S 4,3) äquivalent dazu verringert. Die Folge davon ist ein (in der Regel) geringfügiger Anstieg aller Korrosionsquotienten (Q_S , Q_R , und Q_{max}) mit den entsprechenden werkstoffspezifischen Konsequenzen.

Zu beachten sind hierbei die Grenzwerte für Chlorid und Sulfat.

- i) Zusatz von Flockungsmitteln (Aluminium- und Eisen-II-sulfat sowie Eisen-III-chlorid)

Enthält das Wasser kolloidal gelöste und/oder feinstpartikuläre, meist organische Stoffe, die durch einfaches Filtrieren nicht oder nur unvollständig zu entfernen sind, läßt sich vielfach durch Zusatz von Flockungsmitteln eine Problemlösung herbeiführen. Bei den Flockungsmitteln handelt es sich um Aluminium- und Eisen-II-sulfat sowie Eisen-III-chlorid. Dem Wasser in kleinen Mengen zugesetzt hydrolysieren sie, teilweise in Zusammenhang mit einer Oxidation, zu entsprechenden Hydroxiden, die in flockig amorpher Form ausfallen, die zu beseitigenden Stoffe einschließen und somit gemeinsam abfiltriert werden können. Analog dem Zusatz von Säuren (siehe Abschnitt h) wird der Mineralsäureanteil der Anionen erhöht, der Hydrogencarbonatgehalt verringert und damit sämtliche Korrosionsquotienten geringfügig vergrößert.

Bei diesem Verfahren sind die Grenzwerte für Chlorid, Sulfat sowie gegebenenfalls Eisen und Aluminium zu beachten.

- j) Behandlung mit Anionentauschern

Bei diesem Verfahren werden Sulfat- und Nitrationen gegen Chloridionen ausgetauscht. Es befindet sich noch weitgehend im Stadium der Erprobung¹⁰⁾ und ist anwendbar bei Wässern, die in verzinkten Stahlrohren selektive Korrosion, sog. Zinkgeriesel⁵⁾ und bei solchen, die in Trinkwasserinstallationen aus Kupfer Lochkorrosion begünstigen.

Bei verzinktem Stahlrohr ist eine Begünstigung von selektiver Korrosion erkennbar, wenn zusätzlich zum Quotienten aus der Summe der Chlorid- und der halben Sulfatkonzentration dividiert durch die Hydrogencarbonatkonzentration, der sich in einer Größenordnung > 3 bewegen muß, der Quotient aus der Summe der Chlorid- und der halben Sulfatkonzentration, dividiert durch die Nitratkonzentration < 2 ist:

$$Q = \frac{c(\text{Cl}^-) + c(1/2 \text{SO}_4^{2-})}{c(\text{NO}_3^-)}$$

Werden Nitrat- und Sulfationen durch Chloridionen ersetzt, vergrößert sich zwangsläufig der zusätzliche Korrosionsquotient und die Schadenwahrscheinlichkeit nimmt entsprechend ab.

Berechnungsbeispiele für Korrosionsquotienten:

Wasseranalyse

pH-Wert (bei Probenahme)	: 7,12/13,8 °C	
Säurekapazität bis pH 4,3 (K_S 4,3)	: 5,16 mol/m ³ /17,5 °C	(14,5° dKH)
Calcium	: 3,49 mol/m ³	} (21,6° dGH)
Magnesium	: 0,37 mol/m ³	
Chlorid	: 1,78 mol/m ³	(63,1 mg/l)
Sulfat	: 1,24 mol/m ³	(119 mg/l)
Nitrat	: $< 0,01$ mol/m ³	(< 0,6 mg/l)

Anmerkungen: Calcium + Magnesium = Summe Erdalkali

DIN 50930 Teil 2, unlegierte Eisenwerkstoffe, Lochkorrosion

$$Q = \frac{c(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})}{K_S 4,3}$$

Gefahr einer lokal verstärkten Korrosion bei $Q > 1$

$$Q = \frac{1,78 + 2 \times 1,24}{5,16} = 0,83$$

Es liegt kein erhöhtes Korrosionsrisiko vor.

DIN 50930 Teil 3, feuerverzinkte Eisenwerkstoffe, Muldenkorrosion

$$Q = \frac{c(\text{Cl}^-) + c(1/2 \text{SO}_4^{2-})}{K_S 4,3}$$

Gefahr einer lokal verstärkten Korrosion bei $Q > 3$, kaum Korrosion bei $Q < 1$.

$$Q = \frac{1,78 + 0,5 \times 1,24}{5,16} = 0,47$$

Es liegt kein erhöhtes Korrosionsrisiko vor.

DIN 50930 Teil 3, feuerverzinkte Eisenwerkstoffe, selekt. Korrosion

$$Q = \frac{c(\text{Cl}^-) + c(1/2 \text{SO}_4^{2-})}{C(\text{NO}_3^-)}$$

Gefahr einer selektiven Korrosion zusätzlich bei $Q < 2$.

$$Q = \frac{1,78 + 0,5 \times 1,24}{< 0,01} = > 240$$

Es liegt kein Korrosionsrisiko vor.

DIN 50930 Teil 5, Kupfer, Lochkorrosion Typ II

(erwärmtes Trinkwasser, weich, sauer)

$$Q = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{SO}_4^-)}$$

Gefahr einer lokal verstärkten Korrosion bei $Q < 2$ ($\text{HCO}_3^- = K_S$ 4,3)

$$Q = \frac{5,16}{1,24} = 4,16$$

Ungeachtet dessen, daß es sich vorliegend um ein sehr hartes, alkalisches Wasser handelt, liegt auch aufgrund des hohen Q kein Korrosionsrisiko vor.

IFS-Grundlagenforschung, Kupfer, Lochkorrosion Typ I (Trinkwasser)

$$Q_S = \frac{2c(\Sigma \text{Erdalkali})}{c(\text{HCO}_3^-)} - 1$$

Generelle Gefahr einer lokal verstärkten Korrosion bei $Q > 0,15$ bis $< 2,0$ ($\text{HCO}_3^- = K_S$ 4,3)*

$$Q_S = \frac{2 \times 3,86}{5,16} - 1 = 0,50$$

Es besteht ein erhöhtes Korrosionsrisiko, das zunächst jedoch auf die Sättigungstemperatur beschränkt bleibt. Die Sättigungstemperatur errechnet sich über den Sättigungsindex. (Abweichung des realen pH-Wertes vom rechnerischen SättigungspH-Wert.)

* Wenn eine K_s 8,2 vorliegt, dann: K_s 4,3 - 2 x K_s 8,2 = HCO_3^-

Berechnung des Sättigungsindex nach DIN 38404 Teil 10.

Konzentration der Äquivalente der Ionenart	val/m ³	Ionenstärke μ in mol/m ³
Chlorid	1,78	0,89
Nitrat	< 0,01	0
Sulfat	2,48	2,48
K_s 4,3	5,16	2,58
Summe der Konz. an Anionenäquival.	9,42	
Calcium	6,98	6,98
Magnesium	0,74	0,74
restliche Kationenäquivalente (Na, K)	1,70	0,85
Ionenstärke μ in mol/m ³		14,52

Auswertung:

δ	13,8 °C
μ	14,52 mol/m ³
c (Ca ²⁺)	3,49 "
K_s 4,3	5,16 "
pH-Wert	7,12/13,8 °C
c (HCO ₃ ⁻)	5,16 "
lg {c (Ca ²⁺)}	0,543
lg {c (HCO ₃ ⁻)}	0,713
pH-Wert	7,12
lg K_{La1}	-8,283
lg f_{La2}	-0,258
Sättigungsindex (I_s)	-0,165/13,8 °C

1) Temperaturabhängige thermodynamische Konstante.

2) Aktivitätskoeffizient zu K_{La}

Das Wasser entspricht also mit einem I_s von -0,165/13,8 °C den Anforderungen der Trinkw.V. Durch Verrechnen des I_s auf den realen pH-Wert ergibt sich dabei ein Sättigungs pH-Wert von 7,12 + 0,17 = 7,29/13,8 °C. Durch Verrechnen des I_s auf den Logarithmus der thermodynamischen Konstanten K_{La} (-8,283 + 0,165 = -8,118) ergibt sich eine Sättigungstemperatur von 20,7 °C. **Der vorstehend berechnete Korrosionsquotient Q_s von 0,50 bezieht sich also auf eine Temperatur von 20,7 °C.**

$$Q_s = 0,50/20,7 °C$$

Unter Berücksichtigung der restlichen Kationenäquivalente (Restalkali) und eventuell überschüssigem freien Kohlenstoffdioxid errechnet sich der maximal mögliche Korrosionsquotient Q_{max} nach der Formel:

$$Q_{max} = \frac{2c(\Sigma \text{Erdalkali}) + c(\Sigma \text{Alkali})}{c(\text{HCO}_3^-)} - 1$$

$$Q_{max} = \frac{2 \times 3,86 + 1,71}{5,16} - 1 = 0,83$$

Auch bei einem entsprechenden Kohlenstoffdioxidüberschuß besteht daher ein erhöhtes Korrosionsrisiko.

Bei Kupfer basiert das Verfahren auf der Überlegung, daß das positive Kupferpotential bei der Korrosion einer vorhergehenden Oxidation bedarf und somit sauerstoffhaltige Anionen wie Sulfat und Nitrat, den lokalen Werkstoffangriff bei Trinkwasserinstallationen aus Kupfer aktivieren (Reduktion des Sulfats zu Sulfid). Andererseits läßt die Bildung unlöslichen Kupfer-I-chlorids auf den Sohlen der Korrosionsgruben eine Passivreaktion des Chlorids vermuten. Von dem Austausch von Sulfat und Nitrat gegen Chlorid werden die kupferspezifischen und möglicherweise auch für andere Werkstoffe anwendbaren Korrosionsquotienten (Q_s , Q_R und Q_{max}) nicht tangiert. Der Erfolg dürfte jedoch durch verbleibende Sulfat- bzw. Nitratreste gefährdet werden: Um eine positive Veränderung der korrosionsrelevanten Parameter des Wassers zu erzielen, ist diese Maßnahme also konsequent durchzuführen.

Grundsätzlich ist jedoch zu berücksichtigen, daß 1 mol Sulfat durch 2 mol Chlorid und darüber hinaus auch Nitrat durch Chlorid ersetzt wird. Die sich aus den Relationen zum Hydrogencarbonat nach DIN 50930 Teil 3 und Teil 4 errechnenden Korrosionsquotienten erfahren also eine u. U. erhebliche Vergrößerung, wobei sich bei verzinktem Stahlrohr im Falle gleichzeitiger selektiver Korrosion das Muldenkorrosionsrisiko gravierend erhöhen kann. Bei einem Wasser mit hohem Sulfatgehalt ist ferner eine Gefährdung nichtrostender molybdänfreier Stähle nach erfolgtem Austausch zu diskutieren⁶⁾. In weitgehender Analogie zum Kationenaustausch fallen beim Regenerieren des Harzes hochkonzentrierte Salzlösungen, hier Natriumsulfat und -nitrat, mit entsprechender Umweltbelastung, an.

Bei Anwendung dieses Verfahrens ist wiederum der Grenzwert für Chlorid zu beachten.

Zusammenfassung

Die vorstehende Diskussion der verschiedenen Aufbereitungs- und Konditionierungsverfahren läßt eindeutig deren Einfluß auf das Korrosionsverhalten des Wassers erkennen. Unter Berücksichtigung der auf die jeweiligen Werkstoffe anwendbaren Korrosionsquotienten läßt sich daher bei einem Großteil der Trinkwässer durch eine entsprechend optimierte Aufbereitung, gegebenenfalls ergänzt durch eine Konditionierung, die Forderung der DIN 2000, Korrosionsprophylaxe durch die Wahl eines geeigneten Werkstoffs oder Werkstoffschutzes und mit Hilfe der Aufbereitung des Wassers zu betreiben, realisieren. Aufgrund der am 01.01.1991 in Kraft getretenen Neufas-

Durch Verrechnen des I_S auf den Logarithmus der Calcium-Ionen-Konzentration ($0,543 + 0,165 = 0,708$) erhält man durch entlogarithmieren einen imaginären Calciumgehalt (Ca_i^{2+}) von $5,11 \text{ mol/m}^3$. Hieraus läßt sich für die Probenahmetemperatur von $13,8^\circ\text{C}$ der Korrosionsquotient Q_R nach folgender Formel errechnen:

$$Q_R = \frac{2c(Ca_i^{2+} + Mg_r^{2+})}{c(HCO_3^-)} - 1^*)$$

$$Q_R = \frac{2 \times (5,11 + 0,37)}{5,16} - 1 = 1,12/13,8^\circ\text{C}$$

Dieser Wert liegt deutlich oberhalb von Q_{max} (0,83). Es liegt damit eine zu starke Übersäuerung vor. Bei $13,8^\circ\text{C}$ ist also kein Lochfraß möglich.

*) Ca_i^{2+} = errechneter imaginärer Calciumgehalt
 Mg_r^{2+} = real bestimmter Magnesiumgehalt

Durch Verändern der thermodynamischen Werte bei der Berechnung des I_S werden entsprechende Veränderungen der jeweiligen Calcium-Ionen-Konzentrationen erhalten, so daß sich auch für diese Temperaturen die Korrosionsquotienten Q_R errechnen lassen.

	20°C	60°C
lg K_{La}	- 8,134	- 7,342
I_S	- 0,017	+ 0,775
lg { c (Ca_i^{2+}) }	+ 0,560	- 0,232
c (Ca_i^{2+})	3,631 mol/m ³	0,586 mol/m ³
$Q_R =$	0,55/20°C	$Q_R =$ - 0,63/60°C

Das Wasser begünstigt bei 20°C also die Korrosion, bei 60°C liegt jedoch kein Risiko mehr vor.

Durch Einsetzen des unteren kritischen Grenzwertes (0,15) bzw. des maximal möglichen Korrosionsquotienten (Q_{max}) läßt sich in der Umkehrung der Formel zur Berechnung des realen Korrosionsquotienten (Q_R) die Temperaturspanne errechnen, bei der ein erhöhtes Korrosionsrisiko gegeben ist.

$$\frac{(Q + 1) \times K_S 4,3 - 2c(Mg_r^{2+})}{2} = c(Ca_i^{2+})$$

für $Q_{0,15}$: $\frac{(0,15 + 1) \times 5,16 - 2 \times 0,37}{2} = 2,60 \text{ mol } Ca_i^{2+}/m^3$

für Q_{max} : $\frac{(0,83 + 1) \times 5,16 - 2 \times 0,37}{2} = 4,36 \text{ mol } Ca_i^{2+}/m^3$

	für Q_{max}	$Q_{0,15}$
lg { c (Ca_i^{2+}) }	0,639	0,415
lg { c (HCO_3^-) }	0,713	0,713
pH-Wert	7,12	7,12
lg f_{La}	- 0,258	- 0,258
- lg K_{La}	8,214	7,990
Temperaturspanne der Korrosion:	16,7°C	bis 26,2°C

Im Temperaturbereich zwischen $16,7^\circ\text{C}$ und $26,2^\circ\text{C}$ besteht also ein Risiko für ein Auftreten von Lochkorrosion Typ I.

sung der Trinkwasserverordnung vom 05.12.1990 und der darin zum Ausdruck gebrachten Verschärfung der Toleranzen bei der Calciumcarbonatsättigung ist vielerorts, insbesondere bei älteren Trinkwasserinstallationen aus Kupfer, eine Zunahme von Korrosionsschäden in Betracht zu ziehen. In Einzelfällen ist auch ein Auftreten von Korrosionen in Bereichen, die bislang hiervon verschont waren, nicht auszuschließen. Wie die vorstehende Diskussion der Aufbereitungs- und Konditionierungsverfahren zeigt, lassen sich in der Regel jedoch aus Änderung der Wasserbeschaffenheit resultierende Korrosionsschäden unterbinden. Eine Optimierung der Wasseraufbereitung in diesen Fällen dürfte daher unvermeidlich sein.

Natürliche oder technisch bedingte Veränderungen der Wasserbeschaffenheit müssen nicht zwangsläufig Korrosionsschäden zur Folge haben.

Literatur

- 1) DIN 2000, Zentrale Trinkwasserversorgung. Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau und Betrieb der Anlagen
- 2) Trinkw.V. Trinkwasserverordnung vom 05.12.1990
- 3) W. Kölle, Redoxprozesse im Grundwasserleiter. Veröffentlichung der DVGW-Forschungsstelle Heft 20/82
- 4) DIN 50930, Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffen gegenüber Wasser Teil 2, Unlegierte und niedriglegierte Eisenwerk-
- 5) DIN 50930, Teil 3, Feuerverzinkte Werkstoffe
- 6) DIN 50930, Teil 4, Nichtrostende Stähle
- 7) O. Wollrab, Über den Einfluß der Wasserbeschaffenheit auf die Lochkorrosion in Trinkwasserinstallationen aus Kupfer. „schadenprisma“ 3/89
- 8) DIN 38404, Teil 10, Calciumcarbonatsättigung eines Wassers
- 9) DIN 50930, Teil 5, Kupfer und Kupferlegierungen
- 10) C.-L. Kruse P.-K.-J. Ensenauner, Korrosionsschutz in Trinkwasserleitungen der Hausinstallation durch Veränderung der Wasserbeschaffenheit mit Anionenaustauschern, Sanitär- und Heizungstechnik 12/87

Otto Wollrab,
 Heidrun Dobberstein,
 Institut für Schadenverhütung
 und Schadenforschung (IFS),
 Kiel

Korrosionsschäden durch Leitungswasser - Ursachen und Verhütung

Zu diesem wichtigen Thema hat das Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung (IFS), Kiel, eine Sonderpublikation (42 Seiten) veröffentlicht, die zum Stückpreis von DM 10,-- beim IFS angefordert werden kann (Tel.: 04 31 - 7 40 47).