

# Möglichkeiten des Einsatzes von Inhibitoren im Trinkwasserbereich

Günter Schmitt, Dieter Kuron und Werner Nissing

## 7. Einleitung

Zur Begriffsbestimmung soll einleitend die Definition des Ausdrucks »Inhibitor« vorangestellt werden. Nach ISO 8044 [1] sind Inhibitoren chemische Substanzen, welche die Korrosionsrate senken, wenn sie in geeigneten, im allgemeinen sehr geringen Konzentrationen im Korrosionsmedium anwesend sind. Dabei soll jedoch die Konzentration irgendwelcher korrosiver Angriffsmittel nicht wesentlich verändert werden. Demnach gehören solche Substanzen nicht zu den Korrosionsinhibitoren, die lediglich zur Veränderung des pH-Wertes oder der Sauerstoffkonzentration zugesetzt werden.



**Prof. Dr. habil. Günter Schmitt**, geb. 1942; *Chemiestudium an der Univ. Köln und an der TH Aachen. Über 20jährige Forschungstätigkeit auf dem Gebiet Korrosionsinhibitoren, Vors. der GIKORR-Ges. f.*

*Korrosionsschutztechnik e. V., Frankfurt*



**Ing. Dieter Kuron**, geb. 1930; *Studium an der Ingenieurschule Essen, Ausbildung auf dem Gebiet Korrosion im Max-Planck-Inst. f. Eisenforschung in Düsseldorf, Leitende Tätigkeit in der Materialprüfung und Werkstofftechnik in der Chemischen Industrie*



**Dipl.-Ing. Werner Nissing**, geb. 1942; *Studium: Chemie, Verfahrenstechnik. Seit 1967 in der Wasserversorgung bei der GELSENWASSER AG. Mitarbeit in zahlreichen nationalen und internationalen Fachausschüssen*

Die im Wasser korrosionsvermindernd wirkenden Inhibitoren können eingeteilt werden in Stoffe, die

- im Wasser aufgrund seiner Herkunft (Grundwasser, Oberflächenwasser etc.) vorhanden sind bzw.
- dem Wasser zugesetzt werden

In Wässern natürlichen Ursprungs vorhandene Inhibitoren sind: Phosphate, Silikate, Aluminiumverbindungen sowie organische Stoffe, die unter dem Begriff »Huminstoffe« zusammengefaßt werden.

Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel, dessen hohe Qualitätsanforderungen in der EG-Richtlinie »Trinkwasser« [2] und der Trinkwasserverordnung [3] festgelegt sind. Die zur Aufbereitung des Wassers zu Trinkwasser zugelassenen Stoffe sind ebenfalls in der TrinkwV [3] aufgeführt, wobei der Verwendungszweck und die maximale Anwendungskonzentration festgelegt sind.

Vor diesem gesetzlichen Hintergrund reduzieren sich die als Zusatz zu Trinkwasser anwendbaren Inhibitorsubstanzen auf anorganische Phosphate und Silikate.

Die Inhibitionswirkung von Huminstoffen auf die Korrosion von Metallen in Trinkwasserinstallationen ist experimentell bewiesen [4]. Wenn Trinkwasser Huminstoffe enthält, sind diese als natürliche Inhibitoren willkommen. Bei den Huminstoffen handelt es sich überwiegend um Huminsäuren, d.h. organische Polycarbonsäuren, die bei der Verrottung pflanzlichen Materials entstehen und vorzugsweise in Oberflächenwässern vorkommen. Sie bestehen aus einer Vielzahl von Einzelsubstanzen und lassen sich analytisch nicht eindeutig definieren. Obwohl sie als Inhaltsstoffe toleriert werden, ist es nach dem Lebensmittelgesetz dennoch nicht gestattet, Huminsäuren gezielt als Inhibitoren dem Trinkwasser zuzusetzen [5].

Im folgenden werden die Notwendigkeit und die Wirkung von Inhibitoren bei der Korrosion der in Trinkwasserinstallationen eingesetzten Werkstoffe diskutiert. Primär wird dabei auf solche Systeme eingegangen, in denen Trinkwasser als Lebensmittel verteilt wird. Daneben soll jedoch auch auf Installationen eingegangen werden, in denen Wasser mit Trinkwasserqualität eingesetzt wird, jedoch nicht

als Trinkwasser, sondern als Wärmeübertragungsmedium (Heizung, Kühlung) oder als Konditionierungsmittel für Luft (Luftwäsche, Luftbefeuchtung) verwendet wird. In diesen Fällen sind besondere Randbedingungen zu berücksichtigen. Im Bereich »Heizung/Kühlung« [6] können sogar weitere Inhibitorstoffklassen als die oben genannten benutzt werden, wenn die geltenden Richtlinien für den Betrieb solcher Anlagen berücksichtigt werden.

## 2. Trinkwasserinstallations-systeme

### 2.1 Allgemeine Überlegungen

Die Beschaffenheit des Trinkwassers und die Bedingungen, unter denen Korrosion stattfinden kann, bestimmen die Einsatzgrenzen der möglichen Werkstoffe [8]. Diese sind in der DIN 50930, Teile 1 bis 5 [7], festgelegt. Bei der Auswahl der Werkstoffe sind die Anforderungen der EG-Richtlinie [2] und der Trinkwasserverordnung [3] zu beachten. Dies gilt insbesondere für die Abgabe toxischer Schwermetalle an das Trinkwasser. Die Ausführung der Installation sowie die Betriebsbedingungen des Trinkwassersystems sind in der DIN 1988 [8] beschrieben.

Die Vielzahl der zu berücksichtigenden Einflußgrößen und die komplizierten Wechselwirkungen einzelner Parameter miteinander machen eine Beurteilung, ob im Einzelfall eine Korrosionsgefährdung oder gar ein Korrosionsschaden zu erwarten ist, äußerst schwer. Allerdings ist bei Beachtung der technischen Regeln das Auftreten von Korrosionsschäden wenig wahrscheinlich und nur beim Zusammentreffen mehrerer ungünstiger Randbedingungen möglich [9].

Für diese Fälle - und nur für diese Fälle - sollte der gezielte Einsatz von Inhibitoren erwogen und ggf. vorgenommen werden, wobei schon an dieser Stelle darauf hingewiesen sei, daß diese Korrosionsschutzmaßnahme möglichst zentral, d. h. im Wasserversorgungsunternehmen und nicht dezentral bei einzelnen Hausinstallationen, erfolgen sollte. Hierauf wird jedoch später noch näher eingegangen.

### 2.2 Korrosionsrelevante Wasserparameter

Das Lebensmittel Trinkwasser enthält nicht nur die chemische Substanz  $H_2O$ , sondern in gelöster Form auch Salze (Chloride, Sulfate, Phosphate, Nitrate sowie Silikate in Form ihrer Alkali- und Erdalkaliverbindungen), organische Kohlenstoffverbindungen (gemessen als gelöster organischer Kohlenstoff, DOC) sowie Gase (Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid). Diese Inhaltsstoffe können nach Art und Konzentration in relativ breiten Grenzen, u.U. auch zeitlich schwanken. Die Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei innerer Korrosionsbelastung durch Trinkwasser wird durch Zusammenstellung charakteristischer Zustände und Analysewerte gemäß DIN 50930, Teil 1 [7, 9] erleichtert. Liegen jedoch Wasser unterschiedlicher Beschaffenheit im Trinkwasserverteilungssystem vor, so ist die Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit erschwert. Wasser unterschiedlicher Beschaffenheit sind im DVGW-Arbeitsblatt W 216 [10] definiert.

Bei der Wechselwirkung der meisten in den Wasserinstallationssystemen verwendeten Werkstoffe mit dem Trinkwasser findet zwangsläufig Korrosion statt. Art und Ausmaß der Korrosion bestimmt die Ausbildung der Schutz- bzw. Deckschichten. Von Schutzschichten spricht man, wenn sie die Metalloberfläche lückenlos und möglichst poren- bzw. fehlerfrei überziehen und damit den Stofftransport an die Phasengrenze Metall/Wasser behindern.

Eine wesentliche Einflußgröße auf die Korrosion und Deckschichtbildung hat der pH-Wert. Die Einstellung eines möglichst hohen pH-Wertes (nach TrinkwV bis zu pH 9,5) vermindert die Korrosionsgeschwindigkeit und begünstigt in der Regel die Deckschichtbildung. Der maximale pH-Wert ist in Trinkwässern durch den pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung begrenzt. Oberhalb dieses »Sättigungs-pH-Wertes ( $pH_{ci}$ ) kann es in Installationssystemen zu Störungen durch unkontrollierte Abscheidung von Calciumcarbonat kommen. Dabei ist ein Überschreiten des Sättigungs-pH-Wertes bis zu 0,2 pH-Einheiten im allgemeinen unkritisch. Nach alten Vorstellungen zur Korrosion in Trinkwasserversorgungsanlagen war der Sättigungs-pH-Wert die Zielgröße zur Vermeidung von Korrosionsangriffen. Nur unter diesen Bedingungen sollte sich in eisernen Rohren die sog. »Kalk-Rost-Schutzschicht« bilden. Lag der pH-Wert des Wassers unterhalb des pH-Wertes der Calciumcarbonatsättigung, so wurde das Wasser als aggressiv eingestuft. Als Maß für die Aggressivität des Wassers wurde der Sättigungsindex (SI) als Differenz zwischen dem vorhandenen pH-Wert und dem pH-Wert der Calciumcarbonatsättigung definiert. Ein negativer Sättigungsindex

kennzeichnete ein Wasser als aggressiv [11]. Da der Sättigungs-pH-Wert von der Konzentration an Calcium- und Hydrogencarbonationen abhängt, umfaßt er in natürlichen Trinkwässern einen Bereich von mehr als 3 pH-Einheiten (pH 6,5 bis 9,5).

Durch den gleichzeitig verwendeten Begriff des Sättigungsindex wird die Vorstellung vom »Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht« mehrdeutig. Danach ist beispielsweise ein mittelhartes Wasser mit einem Gleichgewichts-pH-Wert von 7,5 nicht aggressiv. Ein weiches Wasser, das ebenfalls einen pH-Wert von 7,5 hat, wäre aber mit einem Sättigungs-pH-Wert von 8, d. h. einem Sättigungsindex  $SI = -0,5$ , korrosionsfördernd. Nach neueren Untersuchungen [4] ist die Einstellung der  $CaCO_3$ -Sättigung nicht zwingend erforderlich.

In DIN 50930, Teil 1 [7], wird der Begriff der Korrosionswahrscheinlichkeit im Hinblick auf Korrosionsschäden und Nutzungsdauer

bzw. verhindern jedoch die Kalkabscheidung. In Verbindung mit Ortho-Phosphat zeigen Polyphosphate abhängig vom Werkstoff und von der Wasserbeschaffenheit synergetische Effekte. Bei höheren Temperaturen (insbesondere oberhalb  $60^\circ C$ ) hydrolysieren Polyphosphate zu Ortho-Phosphat, so daß im Warmwasser letztlich nur eine Ortho-Phosphatinhibierung erfolgt.

Als Trinkwasserbehandlungskemikalien sind Produkte auf dem Markt, die entweder nur auf Phosphat-Basis (Ortho- und/oder Polyphosphat) oder auf Phosphat-Basis mit Zusätzen von Silikat und auch Natronlauge aufgebaut sind. Silikate dürfen nicht allein dosiert werden, sondern nur in Verbindung mit Phosphaten, Hydroxiden und Carbonaten [3]. Die Dosierung aller Behandlungskemikalien muß grundsätzlich volumenstromabhängig erfolgen, wobei insbesondere bei dezentraler Dosierung der Genauigkeit der Dosiergeräte be-

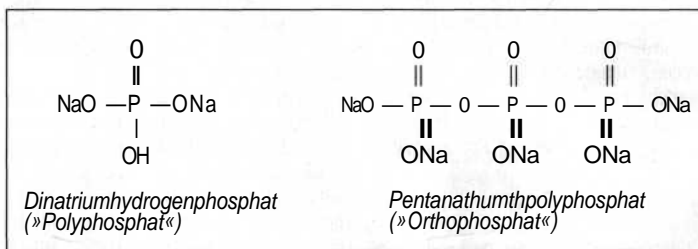


Bild 1: Chemische Formeln für im Trinkwasserbereich verwendete Phosphate

des Bauteils definiert. Damit läßt sich das Korrosionsverhalten beschreiben, ohne daß man auf das Modell des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes Bezug nehmen muß. Die pH-Wert-Anforderung der TrinkwV stellt also aus Sicht des Korrosionsschutzes nur die obere Grenze dar, um in der Praxis Störungen durch  $CaCO_3$ -Abscheidung zu vermeiden.

### 2.3 Inhibitoren und ihre Wirkung

Die wesentliche Aufgabe von Inhibitoren für den Trinkwasserbereich ist es, die Bildung schützender Deckschichten aus Korrosionsprodukten des metallischen Werkstoffs und Wasserinhaltsstoffen zu fördern. Da die hier zu diskutierenden Inhibitoren, Phosphate und Silikate, am Schutzschichtaufbau beteiligt sind, d.h. ein Gleichgewicht zwischen der Deckschicht und der Inhibitorkonzentration im Wasser besteht, müssen sie kontinuierlich zudosiert werden. Dabei sind die gesetzlich zulässigen Maximalwerte zu beachten (max.  $5 g P_2O_5/m^3$  bzw. max.  $40 g SiO_2/m^3$ ) [3].

Bei den anorganischen Phosphaten unterscheidet man zwischen Ortho-Phosphaten und Polyphosphaten (Bild 1). Ortho-Phosphate sind an der Bildung schützender Deckschichten beteiligt. Polyphosphate entfalten allein keine ausreichende Inhibitionswirkung, vermindern

sondere Bedeutung zukommt. Technische Richtlinien hierzu gibt DIN 19635 [12]. Im DVGW-Merkblatt W 215 [13] werden Anforderungen an Produkte beschrieben und Hinweise zum Bau und Betrieb von Anlagen zur Dosierung von Phosphaten gegeben.

### 2.4 Werkstoffe

Im folgenden sollen die werkstoffspezifischen Aspekte des Einsatzes von Inhibitoren im Trinkwasserbereich erörtert werden.

#### 2.4.1 Unlegierter Stahl

Als Folge der ungünstigen Betriebsbedingungen in Versorgungsleitungen und Hausinstallationen sind unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe für die Verteilung von Trinkwasser nicht geeignet (DIN 50930, Teil 2 [7]). Durch die Abgabe von Korrosionsprodukten werden Aussehen (Braunfärbung und Trübung) und Geschmack des Trinkwassers negativ beeinflusst und die Grenzwerte der gesetzlichen Qualitätsanforderungen überschritten [3]. In Heizungs- und Sprinkleranlagen werden dagegen unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe verwendet. Versorgungsleitungen aus Stahl oder Guß können durch Auskleidungen z.B. Zementmörtel nach DIN 2614 [14]

und Beschichtungen geschützt werden. Eine Dosierung von Inhibitoren ist dann nicht erforderlich.

Bei alten Versorgungsleitungen oder als vorübergehende Maßnahme vor der Sanierung alter Rohrnetze durch Auskleidung hat sich eine zentrale Dosierung von Inhibitoren, vorwiegend Phosphaten, bewährt [15]. Störungen durch Braunfärbung und Trübung des Wassers durch Eisenkorrosionsprodukte können durch Dosierung von Ortho-Phosphaten beseitigt werden [16]. Phosphat-Zugaben von 3 bis  $4 \text{ g/m}^3$  führen zu einer schnellen Abnahme der Eisenkonzentration auf Werte unter  $0.1 \text{ mg/l}$  (Sanierungsdosis). Später kann die Dosierung auf eine Erhaltungsdosis von 0.5 bis  $1.5 \text{ g/m}^3$  verringert werden.

Eine Dosierung von Polyphosphaten zur Maskierung von Braunfärbungen und Trübungen durch erhöhte Eisengehalte ersetzt keine Wasseraufbereitung.

#### 2.4.2 Feuerverzinkter Stahl

Das Korrosionsverhalten feuerverzinkter Rohre wird außer von Wasserparametern entscheidend von der Qualität der Verzinkung beeinflusst. Bei normgerechter Installation (DIN 50930, Teil 3 [7]) ist die Korrosionswahrscheinlichkeit gering. Das Auftreten von sog. Zinkgeriesel wird nur bei qualitativ unzureichenden Zinküberzügen (z.B. bei nach der Feuerverzinkung luftausgeblasenen Rohren) beobachtet [4]. Feuerverzinkter Stahl sollte nicht ständig mit Wässern oberhalb  $60^\circ\text{C}$  beaufschlagt werden, da dann Blasenbildung (Wasserstoffblasen) und örtlicher Angriff auftreten (vgl. DIN 50930 Teil 3 [7]).

Durch Dosierung von Ortho-Phosphat kann die Bildung von schützenden Deckschichten bei feuerverzinkten Eisenwerkstoffen begünstigt werden [4, 7, 8]. Die Phosphatdosierung hat sich zur Sanierung von Verteilungsnetzen bewährt, in denen »Rostwasser« und Zinkgeriesel auftraten [4, 7]. Polyphos-

phate wirken selbst nicht, können jedoch - insbesondere im warmen Wasser - über die Hydrolyse Ortho-Phosphatlieferanten sein. Polyphosphatdosierungen sind nur zur Härtestabilisierung in teilenthärteten Wässern nach pH-Anhebung sinnvoll.

Natürlichen organischen Wasserinhaltsstoffen wird ein Einfluß auf die Bildung korrosionshemmender Schutzschichten zugeschrieben [4, 7].

#### 2.4.3 Kupfer und Kupferlegierungen

Auch bei dieser Werkstoffklasse sind die Qualität der Rohre sowie die Sorgfalt der Installation, insbesondere im Bereich von Rohrverbindungen, von ausschlaggebender Bedeutung für die Korrosionsgefährdung der Verteilungssysteme. Für Trinkwasserrohrleitungen ist ausschließlich Kupfer der Qualität Cu-DHP nach DIN EN 1057 einzubauen. Dabei ist Wert darauf zu legen, daß die Rohre im Hinblick auf eine kohlenstoffarme Innenoberfläche auch den Qualitätsanforderungen des DVGW-Arbeitsblattes GW 392 und der Gütegemeinschaft Kupferrohr e.V. entsprechen [7].

Die bei Kupferinstallationen gefährdeteste Korrosionsart ist die Lochkorrosion. Die Lochkorrosion Typ I wird in kaltem Trinkwasser beobachtet [7, 17 - 19]. Lochkorrosion Typ II tritt in warmen, weichen und sauren Wässern auf [7, 17 - 19]. Für das Auftreten von Lochkorrosion werden die Werkstoff- und Wasserbeschaffenheit und/oder Installationsfehler bei ungünstigen Betriebsbedingungen verantwortlich gemacht. Eine endgültige Klärung der Wirkmechanismen für das Auftreten von Lochkorrosion steht noch aus. Bekannt ist eine Beteiligung der Wasserinhaltsstoffe Sulfat, Chlorid und Hydrogencarbonat. Chlorid und Hydrogencarbonat fördern den gleichförmigen Angriff, während Sulfat die örtliche Korrosion begünstigt.

Ortho-Phosphate begünstigen die Ausbil-

dung schützender Kupfer(I)-oxidschichten. Dadurch wird die Kupferlöslichkeit vermindert. Ob hierdurch eine Lochkorrosion im kalten Wasser vollständig verhindert werden kann, ist experimentell noch nicht ausreichend nachgewiesen. Polyphosphate fördern den gleichmäßigen Flächenabtrag und erhöhen die Kupferlöslichkeit. Bei warmem Wasser wird in der Anhebung des pH-Wertes eine wirkungsvolle Maßnahme gegen Lochkorrosion Typ II gesehen. Hierbei wird gleichzeitig eine Verringerung der Kupferlöslichkeit und damit eine Erniedrigung des Kupfergehaltes im Trinkwasser erzielt. Der verminderte Kupferioneneintrag in das Trinkwasser hat neben hygienischen Aspekten den Vorteil, daß hierdurch in alten Mischinstallationen mit verzinktem Stahl die Gefahr kupferinduzierter Lochkorrosion verzinkter Rohre gesenkt wird (DIN 50930, Teil 3) [4, 7, 20].

Eine Inhibition der Flächenkorrosion ist in warmem Wasser durch Dosierung von Phosphat/Silikat-Mischungen möglich. In Langzeituntersuchungen [16] hat sich besonders die Inhibitionswirkung von Polyphosphat bewiesen. Aber auch Ortho-Phosphat und Silikat zeigten eine Wirkung.

Bei den Kupfer-Zink-Legierungen besteht zuweilen das Problem der selektiven Korrosion durch Entzinkung. Diese Korrosionsart wird in erster Linie durch die Einflußgrößen bestimmt, die auch bei der Korrosion des Zinks Bedeutung besitzen. Das sind der Neutralsalzgehalt, die Säurekapazität und die  $\text{CO}_2$ -Konzentration bzw. der pH-Wert. Durch Dosierung von Ortho-Phosphat kann eine Verminderung der Entzinkungsneigung erreicht werden [21]. Über den Einfluß von Inhibitoren (auf Phosphat/Silikat-Basis) auf die Lokalkorrosion bei Kupferlegierungen liegen derzeit keine gesicherten Erkenntnisse vor. Daneben kann Lochkorrosion durch Verunreinigungen, Gasblasen, Ablagerungen (z. B. Korrosionsprodukte aus vorgeschalteten Leitungen) und Flußmittel auftreten.

stadtler + beck

### 2.4.4 Nichtrostende Stähle

Für Rohrleitungen und Bauteile aus nichtrostenden Stählen ist eine Dosierung von Inhibitoren nicht erforderlich, wenn Werkstoff-, installations- und betriebsseitig die Angaben in DIN 50930, Teil 4, beachtet werden. Die aus Installationen aus nichtrostendem Stahl in kalte und warme Trinkwässer eingetragenen Cr- und Ni-Konzentrationen liegen weit unterhalb der Grenzwerte der TrinkwV [3]. Korrosionsschäden durch Lochkorrosion, Spaltkorrosion sowie Spannungsrisskorrosion sind nur bei ungünstigem Zusammenwirken von zu hohem Chloridgehalt und zu niedrigem pH-Wert bei erhöhten Temperaturen zu erwarten. Wesentlich verbesserte Korrosionsresistenz zeigen molybdänhaltige Qualitäten (z. B. 1.4401 oder 1.4571). Hier ist auch die Möglichkeit einer Spaltkorrosion, z. B. im Verbindungsbereich von Preßflittings, nur äußerst gering.

### 2.5 Dosierung von Inhibitoren zur Härtestabilisierung

In harten Wässern können im Laufe der Zeit in Hausinstallationen störende Ablagerungen von Calciumcarbonat auftreten. Diese führen in Rohren und Bauteilen, wie Boilern, Durchlauferhitzern, Duschen, Ventilen, Perlatoren etc., durch allmähliche Verengung der Querschnitte zu Funktionsstörungen der Anlage. Durch Zusatz von Polyphosphaten (etwa 0,5 bis 3 g/m<sup>3</sup>) können diese Ablagerungen weitgehend vermieden werden [13]. Der Anwendungsbereich der Härtestabilisierung ist bei Carbonathärten von etwa 7 mol/m<sup>3</sup> und

Temperaturen von 60 °C begrenzt. Die Wirksamkeit der Polyphosphate beruht auf der Adsorption von Polyanionen an Kristallisationskeimen des Calciumcarbonats, wodurch deren Wachstumsgeschwindigkeit verzögert wird [24]. Außerdem haben Polyphosphate dispergierende Eigenschaften für Fällungsprodukte, so daß ihre feste Haftung an der Oberfläche des Werkstoffs verhindert wird.

Die Härtestabilisierung wird im allgemeinen dezentral in der Hausinstallation durchgeführt. Besondere Anforderungen sind an die Dosiergenauigkeit solcher Kleinanlagen zu stellen (DIN 19635) [12], damit die gesetzlichen Anforderungen an die Trinkwasserqualität jederzeit eingehalten werden.

### 3. Anlagen mit Trinkwasserbefüllung

In Hausinstallationen wird Trinkwasser außer als Lebensmittel auch zum Befüllen von Warmwasserheizungsanlagen (konventionell oder alternativ beheizt) und zum Konditionieren von Luft (Luftwäsche, Luftbefeuchtung) verwendet. Zwar handelt es sich bei den letztlich rezirkulierten Flüssigkeiten nicht um Trinkwasser. Weil aber die entsprechenden Anlagen an das Trinkwasserleitungsnetz angeschlossen sind und ein Eindringen der Zirkulationswässer in das Trinkwassernetz (z. B. durch zu hohen Anlagendruck oder Unterdrucksituation im Netz) grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann, müssen die verwendeten korrosionsschützenden Zusätze bestimmten hygienischen Anforderungen genügen. Da es sich in der Regel um geschlossene

Systeme handelt, sind die Randbedingungen für den Zusatz korrosionsschützender Substanzen hier anders als bei Trinkwasser als Lebensmittel zu definieren. Dosierung von Phosphat begünstigt z. B. in Luftwäschern usw. die Verkeimung! In der Regel ist auch Biozidzugabe (besondere Qualität) notwendig.

### 3.1 Heizungsanlagen

Bei völlig **geschlossenen** Kreisläufen ist eine Inhibierung nicht erforderlich, da der beim Befüllen mit dem Trinkwasser eingebrachte Sauerstoff durch Reaktion mit der Metall-, insbesondere Stahloberfläche, schnell verbraucht wird [6]. Der Materialverlust ist hierbei vernachlässigbar gering, wenn nicht ständig neuer Sauerstoff z. B. durch unzureichende Dichtungen oder bei Sauerstoff-permeablen Kunststoffrohren eindringen kann [25]. Heute sind diffusionsgesperrte Kunststoffrohre, die eine Sauerstoffdiffusion verhindern, am Markt. In den Installationen, in denen konstruktionsbedingt von einem ständigen Eindringen von Sauerstoff ausgegangen werden muß, ist ein Korrosionsschutz durch Inhibitoren erforderlich. Die Auswahl der Inhibitoren ist in diesem Fall nicht auf Phosphat oder Silikat beschränkt. Hier können auch organische Phosphonate, polymere Carbonsäuren und höhermolekulare wasserlösliche Stickstoffverbindungen eingesetzt werden. Wichtig ist, daß die vorstehend erwähnten Toxizitäts- und Hygieneanforderungen berücksichtigt sind. Die Wirksamkeit der Inhibitoren ist hier im übrigen meist an die Anwesenheit von Sauerstoff und auch bestimmter Calciumionenkonzentrationen geknüpft. Probleme können hier durch Verschlämzung auftreten, der durch regelmäßige Abschlämmen begegnet werden sollte.

Besondere Sorgfalt ist auf die Auswahl der Inhibitoren zu legen, die in Solaranlagen dem Wärmeübertragungsmedium zugegeben werden. Hierbei handelt es sich um Flüssigkeiten, die aus dem Füllwasser (aus der Trinkwasserleitung) und gefrierpunktniedrigenden Flüssigkeiten (Glykolen) besteht. Die angewendeten Inhibitoren müssen dabei auf die unterschiedlichen im System eingebauten Werkstoffe (Stahl, Guß, Aluminium, Kupfer, Messing etc.) abgestimmt sein und dürfen auch bei langzeitiger thermischer Beanspruchung bei Temperaturen weit oberhalb des Wassersiedepunktes (bis 150 °C) nicht an Wirksamkeit verlieren. Selbstverständlich gelten auch hier wieder die genannten Toxizitäts- und Hygieneanforderungen.

### 3.2 Luftkonditionierer

Zur Konditionierung von Luft, d. h. zur Entstaubung und zur Befeuchtung von Luft in EDV-, Klima- oder normalen Räumen, werden spezielle Wäscher eingesetzt, in denen Wasser

mit Luft in innigen Kontakt gebracht wird. Verdunstungsverluste und durch Absalzung abgegebene Wassermengen müssen durch Frischwasser ergänzt werden. Je nach Verfügbarkeit und Notwendigkeit wird zur Befuchtung Trinkwasser, enthärtetes, entcalciumisiertes oder vollentsalztes Wasser eingesetzt.

Insgesamt handelt es sich sowohl werkstoff- als auch mediumseitig um ein recht kompliziertes System, in dem neben Problemen der Korrosion auch hygienische Aspekte eine Bedeutung haben. Es ist daher notwendig, alle Möglichkeiten der heute bekannten Wasserbehandlungsverfahren (mit Härtestabilisierung, Inhibierung, Mikrobiozidbehandlung, Absalzung, Abschlämmung, Reinigung, Desinfektion) auszuschöpfen. Bezüglich der Inhibition gelten somit auch in diesem Fall die für das Lebensmittel Trinkwasser aufgestellten Randbedingungen nicht. Jedoch sind auch hier die genannten Toxizitäts- und Hygieneanforderungen einzuhalten [25].

#### 4. Abschließende Betrachtungen

Sieht man von den Spezialbereichen ab, in denen Trinkwasser nicht als Lebensmittel, sondern als Betriebsmittel (Wärmeübertragung, Luftkonditionierung) verwendet wird, so ist die Anwendung von Inhibitoren im Trinkwasserbereich auf die beiden Substanzklassen

- Phosphate (Ortho- und Polyphosphat) und
- Silikate

beschränkt. Auf ihren Einsatz könnte verzichtet werden, wenn alle Installationen dem heutigen Stand der Technik entsprechen und alle Wässer im nicht korrosionsfördernden Zustand zur Verteilung kämen. Dies ist jedoch nicht der Fall und wird zumindest installationsseitig wohl auch auf lange Sicht nicht realisierbar sein.

Somit wird man auf die Dosierung von Inhibitoren in Trinkwässern weiterhin als eine Möglichkeit zum Korrosionsschutz und zur Sicherung hygienisch einwandfreier Trinkwasserqualitäten zurückgreifen. Die Inhibitor-dosierung sollte aber grundsätzlich eine Notmaßnahme sein, wenn alle anderen Möglichkeiten, z. B. die der Wasseraufbereitung, erfolglos sind. Wenn jedoch eine Inhibitor-dosierung durchgeführt wird, so sollte sie möglichst zentral im Wasserversorgungsunternehmen und nicht beim Verbraucher erfolgen. Auf diese Weise ist sichergestellt, daß Dosierschwankungen vermieden werden und die gesetzlichen Anforderungen an die Qualität des Trinkwassers immer erfüllt sind.

Für die dezentrale Wasserbehandlung in einzelnen Häusern sollten nur Anlagen verwendet werden, deren Eignung durch ein Prüfzeugnis, z.B. des DVGW, nachgewiesen ist. Installation und Wartung der Anlagen sollte ausschließlich durch geeignete Fachfirmen erfolgen. Dabei sind halbjährliche bis jährliche

Wartungsintervalle vorzusehen. Da nach der Trinkwasserverordnung der Eigentümer von Mehrfamilienhäusern Betreiber einer Wasserversorgungsanlage ist, muß von ihm der Nachweis geführt werden, daß das behandelte Trinkwasser den gesetzlichen Vorschriften entspricht [3].

Eine zentrale Dosierung von Phosphaten ist dann problemlos, wenn die entsprechenden Hinweise des DVGW-Merkblattes W 215 [13] berücksichtigt werden. Zur Belastung der Umwelt mit Phosphaten ist einer Studie der Fachgruppe Wasserchemie der GDCh zu entnehmen, daß die zur Trinkwasseraufbereitung und -behandlung verwendete Phosphatmenge in keinem relevanten Verhältnis (0,6 %) zu den Phosphatabgaben des Systems »Mensch/Haushalt« steht [25].

Ein weiterer Einwand betrifft die Möglichkeit der Erhöhung der Aufkeimungstendenz, da die Phosphatkonzentration, die das Wachstum von Mikroorganismen begrenzt (Minimumfaktor), durch Inhibitor-dosierung weit überschritten wird. In der Praxis wurde diese Gefahr jedoch nicht bestätigt.

Schließlich wird auf den Zusammenhang zwischen dem hyperkinetischen Syndrom bei Kindern und Phosphataufnahme hingewiesen. Hier ist jedoch darauf hinzuweisen, daß die Phosphatkonzentrationen in vielen Nahrungsmitteln und Genußmitteln (z.B. Cola-Getränke, Schmierkäse, Streichwurst, Dosenmilch, Puddings) häufig um Größenordnungen höher sind als im Trinkwasser.

Die Einschränkung der Inhibitorauswahl auf Phosphate und Silikate besteht nicht, wenn das Trinkwasser zum Befüllen von Wärmeübertragungssystemen (Heizung, Kühlung oder Luftkonditionierung) dient. Dann muß ggf. die gesamte Palette der Wasserbehandlungsmethoden einschließlich Anwendung sorgsam ausgewählter Inhibitorpackages in Betracht gezogen werden. Natürlich sind hierbei Toxizitäts-, Hygiene- und ökologische Anforderungen zu berücksichtigen.

#### Literaturhinweise

- [1] ISO 8044-1986: Corrosion of metals and alloys - Terms and Definitions. In: DIN-Taschenbuch 219, »Korrosion und Korrosionsschutz - Beurteilung, Prüfung, Schutzmaßnahmen« - Beuth-Verlag, Berlin 1987, S. 247 ff.
- [2] Richtlinie des Rates 80/778/EWG vom 15. Juli 1980 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, ABl. EG Nr. L29 vom 30.8.1980, S. 11 ff. (Trinkwasser-Richtlinie)
- [3] Verordnung über Trinkwasser und Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung - TrinkwV) vom 05.12.1990 (BGBl. I, Nr. 66, S. 2612-2629)
- [4] Nissing, W. & Schwenk W.: Korrosion in Trinkwässern. Unlegierte und feuerverzinkte Stähle. - In: Korrosion verstehen - Korrosionsschäden vermeiden, H. Grafen u. A. Rahmel (Hrsg.), Verlag Irene Kuron, Bonn, 1994, S. 173-181
- [5] Verordnung über das Inverkehrbringen von Zusatzstoffen und einzelnen wie Zusatzstoffe verwendeten anderen Stoffen (Zusatzstoff-Verkehrsordnung - ZverKV) vom 10.7.1997, BGBl. I.S. 897
- [6] VDI-Richtlinie 2035, Teil 2, Vermeidung von Schäden in Warmwasserheizanlagen. Wasserseitige Korrosion. - Entwurf April 1997

- [7] DIN 50930 Korrosion metallischer Werkstoffe bei innerer Korrosionsbelastung durch Wasser, Teil 1: Allgemeines, Teil 2: Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Eisenwerkstoffe, Teil 3: Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit feuerverzinkter Eisenwerkstoffe, Teil 4: Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit nichtrostender Stähle, Teil 5: Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit von Kupfer und Kupferlegierungen; Februar 1993
- [8] DIN 1988, Teile 1 bis 8: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (TRWI); Dezember 1988
- [9] Kommentar zum DIN-Taschenbuch 219, (W. Fischer, Hrsg.), Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Korrosion e.V., Verlag Irene Kuron, Bonn, 1988
- [10] DVGW-Arbeitsblatt W 216: Versorgung mit unterschiedlichen Wässern (September 1997); ZfGW-Verlag GmbH, Frankfurt/Main.
- [11] Axt, G.: Grundlagen der Wasserentsäuerung und ihre analytische Erfassung und Kontrolle. - In: Veröffentlichungen der Abteilung und des Lehrstuhls für Wasserchemie der Universität Karlsruhe, Heft 1, 1966, S. 1-28
- [12] DIN 19635: Siebgeräte für die Behandlung von Trinkwasser (Juni 1986)
- [13] DVGW-Merkblatt W 215: Zentrale Dosierung von Phosphaten (Mai 1989), ZfGW-Verlag GmbH, Frankfurt/Main
- [14] DIN 2614: Zementmörtelauskleidung für Fußrohre, Stahlrohre und Formstücke; 1989
- [15] Kille, W.: Praktische Erfahrungen mit der Phosphatdosierung im Wasserwerk. - 3. Internationale Guilini Wasserdienst-Tagung »Wasser 88«, 17./18. Mai 1988
- [16] Nissing, W.: Zentrale Dosierung von Phosphaten-Ergebnisse und ihre Bewertung. - DVGW-Schriftenreihe 39 (1984)63-73
- [17] Lucey, E.: Werkstoffe und Korrosion, 26 (1975) 185
- [18] von Franqué, O., Gerth, D. & Winkler, B.: Werkstoffe und Korrosion, 26 (1975) 255
- [19] Ferguson, J. F., von Franqué, O. & Schock, M.R.: Corrosion of Copper in Potable Water Systems. - In: International Corrosion of Water Distribution Systems, American Water Works Association Research Foundation, DVGW-Technologiezentrum Wasser, Denver/Colorado, 1996, 2. Aufl., S. 231-268
- [20] Ehreke, J. & Stichel, W.: Einfluß von Phosphaten und/oder Silikaten auf die Korrosion von Kupfer in warmem Trinkwasser. - gwf-wasser/abwasser 124 (1983), (10), 473
- [21] Kruse, C.-L. & van Loven, D.: Werkstoffensatz in Trinkwasserinstallationen. - 7. Korrosionum, GfKORR-Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V., Frankfurt/Main, 1997, S. 51-92
- [22] Diab, ASM & Schwenk, W.: Werkstoffe und Korrosion, 44(1993)367-372
- [23] Schwenk, W.: Korrosion in Trinkwässern. Nichtrostende Stähle. - In: Korrosion verstehen - Korrosionsschäden vermeiden, H. Grafen, A. Rahmel, Hrsg., Verlag Irene Kuron, Bonn, 1994, S. 182-195
- [24] Hammer, D., f.Sonthheimer, H.: gwf 110 (1969) 1057.
- [25] Kruse, C.-L. & Kuron, D.: Wasserseitige Korrosionsprobleme in Anlagen der Heiz- und Klimatechnik. - Klima - Kälte-Heizung (1979), 4, S. 181-186
- [26] Bernhardt, K. (Hrsg.), GDCh: Phosphor - Wege und Verbleib in der Bundesrepublik Deutschland. - Verlag Chemie, Weinheim (1978)