

## Korrosion in Verbindung mit Heizungswasser

# Schäden in Heizungsanlagen vermeiden

Praktisch in jeder Heizungsanlage wird Wasser als Wärmeträger verwendet. Von daher ist es ratsam, Eigenschaften dieses Wärmeträgers und seine Wechselwirkungen mit Heizungswerkstoffen zu kennen. Der nachfolgende Beitrag behandelt die wichtigsten Eigenschaften gebräuchlicher Wässer und deren Auswirkungen auf die Heizungsanlagen.

**W**asser ist eine besondere Flüssigkeit. Schon die Tatsache, daß Wasser bei Temperaturen zwischen 0 und 100 °C in flüssiger Form vorliegt ist eine Besonderheit. Nach seinen verwandten Substanzen wie beispielsweise Schwefelwasserstoff oder Ammoniak müßte es eigentlich erst bei Temperaturen von weit unter -50 °C flüssig werden. Zudem besitzt Wasser eine hohe Wärmekapazität,

ser für Leben und Technik unverzichtbar. Vor allem seine Kompaktheit und die hohe spezifische Wärmekapazität machen es zum häufigsten Wärmeträger.

### Kleinanlagen unterliegen der Heizungswasserrichtlinie

Der Geltungsbereich der DIN-VDI 2035, die seit längerer Zeit für große Heizungsanlagen besteht, wurde in der neuen Fassung auch auf Klein- und Kleinstanlagen ≤ 100 kW erweitert und gilt seit Oktober 2000 als Stand der Technik. Damit hat der Ausschuß für Normung und der Verband deutscher Ingenieure verschiedenen Entwicklungen Rechnung getragen, die sich im Bereich der Kleinanlagen seit langem abzeichnen. Automatisch fallen damit auch Kleinanlagen unter den Geltungsbereich der TRD 602 bzw. 612 (Heizungswasserrichtlinie) des VdTÜV und künftig wahrscheinlich zudem in den Bereich der neuen Druckgeräterichtlinie der EG, deren Geltungsbereich bereits ab 0,5 bar Innendruck beginnt. Kleinf Feuerungsanlagen fallen aufgrund der Gruppeneinteilung der TRD-Regelwerke jedoch streng genommen nicht unter die Richtlinie, so ist eine wiederkehrende Druckprüfung der Heizkessel nicht vorgesehen. Eine wiederkehrende Revision nach Druckbehälterverordnung bzw. nach Dampfkesselverordnung ist erst bei Hochtemperaturanlagen mit Wassertemperaturen über 100 °C und einem Wasserinhalt von mehr als 350 Liter notwendig. Bei diesen Anlagen ist eine regelmäßige Wasseranalyse zwingend vorgeschrieben. Für das Wasser gelten die Richtwerte entsprechend Bild 1.

Die Werte in Klammer sind nicht Teil der Richtlinie, sollten jedoch beachtet werden, da sie Aufschluß über Korrosionsvorgänge geben. Bei Niedertemperaturanlagen ist eine Härtestabilisation im Kreislaufwasser mittels geeigneter Zusätze möglich. Ab einer Vorlauftemperatur von mehr als 70 °C sollte die Heizanlage generell mit härtefreiem Wasser befüllt werden. Die Konditio-

nierung des Kreislaufwassers wird grundsätzlich gefordert. Entsprechende Richtwerte sind bei Herstellern, SHK-Verbänden oder beim TÜV zu erfragen.

### Entwicklung der Anlagentechnik und die Folgen

Im Zuge einer Steigerung der Energieeffizienz von Heizungsanlagen wurden die Flächenlasten (kW/m<sup>2</sup>) stark erhöht. Gleichzeitig kommen aus Gründen der leichteren Verarbeitbarkeit immer mehr verschiedene Werkstoffe im Heizungsbau und der Installation zum Einsatz. Wurden 1960 noch fast ausschließlich verzinkte Eisenrohre, Messingventile und Schwarzeisen verarbeitet, hielt bald darauf Kupfer Einzug im Heizungsbau. Als dann die Fußbodenheizungen vermehrt installiert wurden, kam es zum verbreiteten Einbau von Kunststoffen in den Heizungskreislauf. Diese Kunststoffe waren zunächst nicht diffusionsdicht, so daß Sauerstoff Zutritt zu diesen Kreisläufen erhielt. Die Entwicklung ging weiter über sogenannte diffusionsdichte Kunststoffrohre und schließlich kamen Rohre mit Aluminiumkernen im Kunststoffmantel auf den Markt, welche die Sauerstoffdiffusion reduzierten. Im Zuge der Brennwerttechnik gelangen nun Leichtmetall-Legierungen (Aluminium, Magnesium, Silicium) als neuer Werkstoff in den Heizkreislauf. Somit befinden sich in Heizungswasserkreisläufen zwischenzeitlich bunte Materialmixe verschiedenster Werkstoffe. Erschwerend kommt hinzu, daß Wasserqualitäten äußerst unterschiedlich sind. Diese reichen von extrem hart und salzhaltig, bis hin zu annähernd härtefreiem Wasser.

### Die Flammentemperatur und das Wasser

In den letzten Jahren wurde aus Gründen der besseren Verbrennung und des höheren Wirkungsgrades die Flammentemperatur deutlich erhöht. Dies hatte zur Folge, daß auf eine gegebene Heizfläche im Kes-

Geruch		geruchlos
Färbung		farblos
Trübung		klar
Bodensatz		ohne
pH-Wert		9,0–10,5
El. Leitfähigkeit	[µS/cm]	100–1500
Öl, Fett	mg/l	<1,0
Kupfer	mg/l	(<0,1)
Gesamthärte	°dH	< 0,112

Bild 1 Wasserwerte angelehnt an die TRD 602/612

exorbitante Verdampfungsenergie und ist ein hervorragendes Lösungsmittel für viele Substanzen. Dieser besondere Mix der Eigenschaften und die Tatsache, daß es auf der Erde viel Wasser gibt, macht das Was-

# Heizung

Ab 1. Mai 1975	0,55 vom Hundert des Gewichts
Ab 1. Mai 1976	0,50 vom Hundert des Gewichts
Ab 1. Januar 1979	0,30 vom Hundert des Gewichts
Ab 1. März 1988	0,20 vom Hundert des Gewichts

**Bild 2 Schwefelgehalte im Heizöl und Diesel nach 3. BImSchV**

sel hohe Temperaturunterschiede einwirken. Zum einen ist die Flamme weit über 1000 °C heiß, zum anderen hat das Wasser bei Niedertemperaturanlagen eine Temperatur von 40 bis maximal 80 °C. Da diese Temperaturdifferenz nicht ohne weiteres von bezahlbaren Werkstoffen ausgehalten werden kann, kommen verschiedenste Techniken zum Einsatz, die das Metall des Heizkessels vor der hohen Temperatur der Flamme schützen. Ungeachtet dessen sind die Oberflächentemperaturen der wärmeübertragenden Flächen an der Wasserseite und damit die Flächenlast über die Jahre angestiegen. Daraus ergibt sich, daß eine Belagsbildung im Bereich der Flamm- und Rauchgasrohre bei neueren Heizkesseln wesentlich stärkere Auswirkungen hat als bei älteren Anlagen. Jeder Millimeter Belagsstärke auf der Wasserseite der genannten Flächen bedeutet einen Wirkungsgradverlust von 9–15 %. Baut sich ein stärkerer Belag auf, wird der Kessel nicht mehr ausreichend gekühlt und es besteht die Gefahr der Gefügeveränderung im Kesselmaterial. Aus diesem Grunde wird bei großen Anlagen seit je her Wasser von maximal 0,02 mmol Summe Erdalkalien bzw. 0 °dH eingesetzt, da diese Erdalkalien (Härtebildner) vorwiegend verantwortlich für den gefürchteten Kesselstein sind.

## Die Brennwerttechnologie

Die Brennwerttechnologie ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß Rauchgase durch einen zusätzlichen Wärmeaustauscher geleitet werden, der mit vergleichsweise kaltem Rücklaufwasser aus der Heizung gespeist wird. Dadurch wird das Rauchgas unter den Taupunkt gekühlt und es ist so möglich, die Kondensationswärme des im Rauchgas befindlichen Wassers zu nutzen. Das Wasser entsteht aus der Verbrennungsreaktion der Kohlenwasserstoffe (Öl, Gas) mit dem Sauerstoff der Luft. Die Brennwerttechnologie ist demzufolge effizient, wenn viel Wasserstoff im Molekül vorhanden ist. Das ist insbesondere bei Erdgas der Fall, in eingeschränktem Maß bei Erdöl und praktisch nicht bei Kohle. Bei der Brennwerttechnik traten lange Zeit Probleme mit der Korrosion auf der Rauchgasseite auf, insbesondere bei Verwendung von Heizöl als Brennstoff. Im Heizöl waren nen-

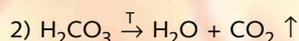
nenswerte Mengen von Schwefelverbindungen gelöst, aus denen durch die Verbrennung schwefelige Säure bzw. Schwefelsäure entsteht. Durch Unterschreitung des Taupunktes am Wärmetauscher entstehen hierbei saure Verbindungen, die sehr korrosiv sind. Durch die dritte Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (3. BImSchV) wurde der Schwefelgehalt in Heizöl und Diesel in Stufen vermindert (Bild 2). Durch die Absenkung des Schwefelgehaltes wurde es möglich Leichtmetalle für die Wärmetauscher einzusetzen. Häufig kommen Aluminiumlegierungen wegen der guten Wärmeleitfähigkeit zum Einsatz. Bis auf wenige Ausnahmen ist Aluminium weder bei saurem noch alkalischen Heizungswasser langzeitstabil, es wird mit der Zeit aufgelöst.

## Niedertemperatur-Großflächenheizungen

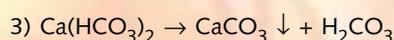
Seit einiger Zeit werden insbesondere bei Trockenbauweise große Heizflächen eingesetzt, die mit niedriger Temperatur arbeiten. Häufig werden diese Anlagen aus Kunststoffmaterialien gefertigt. Diese haben Poren im mikroskopischen Bereich. An diesen feinen Unebenheiten können sich Bakterien einnisten. Bei 35–40 °C haben diese Bakterien ihre optimale Wachstumstemperatur und vermehren sich sehr schnell. Es kann zu einer ausgeprägten Biofouling kommen. Darunter ist die Bildung eines Biofilms verschiedenster Zusammensetzung und Ausdehnung zu verstehen. Solche Biofilme können zum Verschluß der Rohrleitungen innerhalb der Niedertemperaturheizung oder auch zu deren völligen Zerstörung



Lösung von Kalk



Austreiben von Kohlendioxid



Ausfällung von Kalk

**Bild 3 Formeln zur Härteausfällung**

führen. Da es sich hierbei um ein extrem wandelbares Biosystem handelt, ist ein solcher Biofilm nur sehr schwer zu beseitigen. Hierzu gibt es individuelle Behandlungsverfahren, mit denen eine Reduzierung oder gar Beseitigung oft schon erreicht wurde.

## Solaranlagen

Die wasserseitig komplexeste Anwendung stellen Solaranlagen im Primärkreislauf dar. Hier ist zum einen mit sehr hohen Temperaturen (je nach Bauart bis zu 150 °C) und zum anderen mit sehr tiefen Temperaturen (–20 °C) zu rechnen. Die Frostsicherheit kann vergleichsweise einfach mit Polyalkoholen, beispielsweise Polyglycol, Polypropylol, Glycol usw., erreicht werden. Bei hohen Temperaturen in Verbindung mit Sauerstoff kann es zur Bildung von Karbonsäuren kommen, die mit der Zeit zu saurem Kreislaufwasser führen. Da häufig Leichtmetalle wie Aluminium, Magnesium, Silizium und deren Legierungen eingesetzt werden, kann hier eine Korrosion der Kollektoren entstehen.

## Wasser etwas genauer betrachtet

Hier beschränkt sich die Abhandlung auf wenige zentrale Problempunkte, die unmittelbar aus den Eigenschaften des Wassers, seinen gelösten Salzen und den in Kontakt stehenden Materialien folgen.

### Härte

Als Härte werden im Wasser die gelösten Salze des Kalziums und des Magnesiums bezeichnet. Früher wurde die Mengenangabe in Deutschland auf 10 mg/l Kalziumoxid (CaO) bezogen und als deutsche Härtegrade °dH bezeichnet. Seit Einführung der SI-Einheiten wird die Stoffmenge der gelösten Kalzium- und Magnesiumionen direkt angegeben. Die Stoffmenge in der Chemie ist das Mol. Es bezeichnet immer eine gewisse Anzahl von Molekülen, Atomen oder Ionen. Da im täglichen Leben keine Atome bzw. Ionen zählbar sind, wird die Masse dieser bestimmten Anzahl von Atomen, Molekülen oder Ionen angegeben. In Fachkreisen ist dann die Rede von Molmasse. Im Fall des Kalziums hat ein Mol die Masse von 40,08 g und des Magnesiums

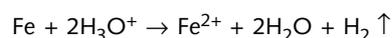
24,312 g. Eine solche Menge ist im Wasser in der Regel nicht gelöst. Deshalb wird die Menge in Millimol pro Liter (mmol/l) angegeben. Das bedeutet der tausendste Teil eines Mols. Beide Einheiten können ineinander umgerechnet werden. Da Kalzium-

Metall	Ion	Spannung (V)
Aluminium	Aluminium (III)	-1,662
Zink	Zink (II)	-0,7627
Kupfer	Kupfer (II)	+0,337
Magnesium	Magnesium (II)	-2,363
Eisen	Eisen (II)	-0,4002
Gold	Gold (III)	+1,498

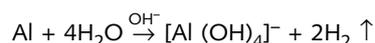
**Bild 4 Spannungsreihe gemessen gegen normal Wasserstoffelektrode**

## Einfluß des pH-Wertes

Für den Betrieb von Heizungen und anderen wasserberührenden Teilen ist es wichtig zu wissen, daß die tatsächliche Korrosionsstätigkeit durch die sogenannte Wasserstoffkorrosion vor allem von der Konzentration der Wasserstoffionen abhängt, also vom pH-Wert. Dies bedeutet, der Umfang der Wasserstoffkorrosion entsprechend nachfolgender Formel über die Reaktionsgleichung zur Säurekorrosion ist unmittelbar abhängig vom pH-Wert des Wassers, welches das Material berührt.



Da es auch einen alkalischen Angriff auf Eisen gibt, der hier nicht näher beleuchtet werden soll, existiert ein optimaler pH-Wertbereich, bei dem die Korrosionsstätigkeit fast nicht mehr meßbar ist. Dieser befindet sich in einem Bereich von ca. 8,5 bis 10,5. Diese Bereichsangabe ist für salzhaltiges Wasser (el. Leitfähigkeiten 100–1500 µS/cm) und Temperaturen unter 100 °C anwendbar. Vergleichbare Formeln und optimale Bereiche gibt es auch für alle anderen Werkstoffe. Im Fall des Aluminiums kommt eine Besonderheit hinzu. Die alkalische Korrosion, die beim Eisen nur kurz angesprochen wurde, tritt beim Aluminium entsprechend nachfolgender Formel in bedeutend größerem Umfang auf. So daß der „optimale“ pH-Wertbereich für Aluminium wesentlich schmaler ist, als der für das Eisen und zudem noch wesentlich tiefer liegt.



Der optimale pH-Bereich des Aluminiums liegt genauer gesagt bei etwa 6,5–7,5, kann jedoch mit geeigneten Maßnahmen bis auf etwa 8,5 gesteigert werden. Die meisten

oxid eine Molmasse von 56,049 g/mol bzw. 56,049 mg/mmol hat und °dH eine Angabe in Schritten von 10 mg/l CaO ist, ergibt sich der Proportionalitätsfaktor von 5,6049 °dH/mmol. In der Praxis reicht die Genauigkeit von einer Dezimalstelle aus.

### Temporäre Härte

Die Gesamthärte wird auf die Ionen des Kalziums und des Magnesiums bezogen. Beide sind positiv geladen. Um die elektrische Neutralität der Lösung zu wahren, muß die gleiche Menge negativ geladener Ionen vorhanden sein. In Deutschland mit seinen ausgesprochen mächtigen Kalklagerstätten sind dies meist Karbonat bzw. Hydrogencarbonat. Es wird dann von Karbonathärte (KH), Kalkhärte oder auch temporärer Härte gesprochen. Die Salze des Magnesiums, Calciums und der Kohlensäure (Karbonate) sind sehr schwerlöslich. Kohlensäure ist zudem eine schwache Säure und eine flüchtige dazu. So können folgende Eigenschaften angegeben werden.

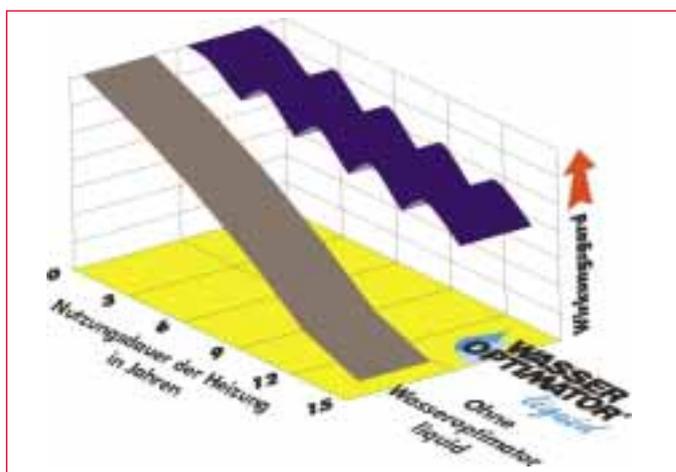
- Bei Gegenwart von Säuren (z. B. Kohlensäure) wird Kalk gelöst. Es bilden sich Hydrogencarbonate, die leicht löslich sind (Bild 3 Gleichung 1).
- Wird die Kohlensäure ausgetrieben, durch plötzliche Druckentlastung oder Hitzeeinwirkung, fällt der Kalk (die Härte) aus. Es bildet sich Kesselstein und weiches Wasser (Bild 3 Gleichung 2 und 3).

### Dauerhafte Härte

Alle anderen Ionen beispielsweise Chlorid, Sulfat usw. sind nicht flüchtig und bilden in kurzer Zeit keine schwerlöslichen Verbindungen. Fachleute sprechen daher von permanenter Härte, weil dieses durch Hitzeeinwirkung nicht entfernt werden kann. Im Fall der Heizung bereitet uns die Existenz von Kalkhärte große Sorgen, weil diese zur Verkrustung (Kesselsteinbildung) an wärmeübertragenden Flächen führt und zudem zum Bindemittel für Korrosionspartikel wird. Das Sulfat ist hier nicht so kritisch. Es kann allerdings nach einigen Jahren zur Bildung von Schlamm aus Gips führen.

## Korrosion und Spannungsreihe

Im Heizungsbau kommen vorwiegend metallische Werkstoffe und zum Teil Kunststoffe zum Einsatz. Alle diese Werkstoffe unterliegen der Korrosion. Im Prinzip werden sie alle aus Erzen gewonnen, wobei die metallischen Vertreter wie beispielsweise Kupfer, Eisen und Aluminium aus den Oxiden (Verbindungen mit Sauerstoff) stammen. Im Falle der Kunststoffe hat diesen Vorgang die Natur bereits erledigt, indem aus Wasser, Kohlensäure und Licht Erdöl wurde. Alle diese Werkstoffe gleichen in gewisser Weise einer gespannten Feder, die wieder in die energetisch günstigere Ausgangssituation gelangen möchte. In der Regel geschieht das, jedoch nur sehr langsam. Diesen Vorgang der „kalten – weil langsamen – Verbrennung“ bezeichnet man neben anderen Arten auch als Korrosion. Immer wenn Substanzen mit Sauerstoff reagieren, werden Elektronen ausgetauscht. Das bedeutet, es fließt ein elektrischer Strom (Batterieprinzip) der in diesem Zusammenhang als Korrosionsstrom bezeichnet wird. Wird der Stromfluß unterbrochen, bildet sich eine elektrische Spannung aus. Alle Materialien können unter definierten Bedingungen mit einem definierten Nullpunkt verglichen werden. Daraus ergibt sich eine elektrochemische Spannungsreihe, die in Bild 4 auszugsweise wiedergegeben ist.



**Bild 5 DIN-gerechtes Heizungswasser erhöht Funktionssicherheit und Wirkungsgrad der Heizungsanlage**

# Heizung

Aluminiumlegierungen sind sowohl bei saurem, als auch bei alkalischem, der Richtlinie entsprechendem Wasser nicht stabil. Lediglich ein paar wenige Legierungen zwischen Silizium und Aluminium scheinen eine erhöhte Stabilität im alkalischen Bereich zu haben. Da diese Materialien relativ neu sind, liegen außer Labormessungen noch keine gesicherten Erkenntnisse vor.

## Einfluß von Sauerstoff

Wie bereits zuvor beschrieben, neigen alle gängigen Werkstoffe zur Reaktion mit Sauerstoff. Dadurch entsteht die gefürchtete Lochkorrosion. Für diese Art der Korrosion ist Eisen besonders anfällig, weil im Gegensatz zu Kupfer und Aluminium, keine fest haftenden Oxide entstehen, außer bei hohen Temperaturen, die in der Heizung praktisch nicht vorkommen. Die Oxidschichten bei anderen Werkstoffen (Kupfer, Aluminium) sind zwar dicht und schützen das darunter liegende Material, sind aber bei ständigem Wasserkontakt sehr empfindlich, weil sie durch Schwankungen des pH-Wertes und andere Faktoren leicht und stark angegriffen werden können. Der saure und im Fall des Aluminiums auch alkalische pH-Wert beschleunigen diese Reaktionen, weil Reaktionsprodukte entfernt und Oxidationsprozesse beschleunigt werden.

## Mischinstallationen

Bei Mischinstallationen kommt es neben dem Kontakt von verschiedenen Metallen miteinander, auch verstärkt zum Sauerstoffzutritt durch Kunststoffrohre, Verschraubungen, Muffen, Verpressungen usw. Durch diese Faktoren wird die Ausbildung eines Spannungsgefälles in der Installation eingeleitet, dem häufig das Aluminium zum Opfer fällt. In manchen Bereichen ist dies ein beabsichtigter Vorgang (Opferanoden). Besteht ein Wärmeaustauscher oder ein Heizkörper aus Aluminium kann von Absicht jedoch nicht die Rede sein. Eine Möglichkeit des Schutzes besteht darin, die betroffenen Bauteile elektrisch zu isolieren, damit kein Strom fließen kann. Berücksichtigt werden muß dabei allerdings, das Wasser immer eine gewisse elektrische Leitfähigkeit hat. Darüber hinaus kann es bei Mischinstallationen zu Lokalelementbildungen kommen. Das bedeutet, daß beispielsweise vom Kupfer etwas gelöst wird und das gelöste Kupferion sich am Eisen anlagert. Kommen noch weitere Kupferionen hinzu, entsteht ein Lokalelement, bei dem Eisen gelöst wird. Es entsteht ein Loch, ohne daß das Wasser irgend welche Beson-



**Bild 6 Über Geruch und Farbe läßt sich selten die Qualität des Heizungswassers erkennen**

derheiten gezeigt hätte. Da dieser Vorgang lokal und die beteiligte Stoffmenge sehr klein ist kann dieser Vorgang durch Wasseranalyse nicht nachgewiesen werden. Anfällig für diese Art der Korrosion sind bestimmte Edelstähle, Aluminium, besonders wenn es einmal zur Beschädigung der Schutzschicht gekommen ist, sowie Eisen ab einer bestimmten Kupferkonzentration im Wasser.

## Systemtrennung mittels Wärmetauscher

Zum Schutz der Anlagen wird in letzter Zeit immer häufiger die Systemtrennung empfohlen. Hierbei sollen in der Regel Fußbodenheizungskreisläufe von Heizkörperkreisläufen getrennt werden. Die Systemtrennung erfordert den Einbau eines Wärmetauschers sowie weiterer Bauteile und Pumpen in den Fußbodenheizungskreis. Durch diese Trennung soll verhindert werden, daß der in Fußbodenheizungskreisläufen stärker diffundierende Sauerstoff an den metallischen Oberflächen der Heizkörper Korrosion bildet. Da Heizungsanlagen grundsätzlich nur wasserdicht und nicht gasdicht sind, wird auf der Heizkörperseite, wenn auch geringer, über Ventile, Verschraubungen, usw. ebenfalls Sauerstoff diffundieren. Eine Systemtrennung kann sachlich betrachtet deshalb nur eine Notlösung sein und keine DIN-gerechte Wasseraufbereitung ersetzen. Vielmehr werden durch die Systemtrennung aus einem Heizungswasserkreislauf zwei (Problem) Kreisläufe. Während im Niedertemperaturkreislauf biologische Prozesse zu Problemen werden können, kann sich im Heizkörperkreis weiterhin Oxydschlamm bilden. Auch im Fußbodenheizungskreislauf befinden

sich häufig Metalle, beispielsweise an Verbindungen, an denen der Korrosionsprozeß wesentlich stärker abläuft als normal, da weniger Material zum Reagieren zur Verfügung steht. Neben den höheren Kosten, stellt dieses Verfahren nicht die geforderte Lösung dar.

## Biologische Prozesse in der Heizung

Eine wenig beachtete Tatsache ist, daß Bakterien durchaus in Heizungskreisläufen existieren können. Generell kann gesagt werden, daß dort wo Wasser (jedenfalls auf unserem Planeten) ist, auch Leben sein kann. Diese banale Feststellung hat wichtige Auswirkungen. Bakterien und andere Organismen haben bestimmte Bedürfnisse, die für ihre Entwicklung wichtig sind. Der Einfachheit halber bezeichnen wir alles was biologisch in der Heizung ist als Bakterium, sind uns aber bewußt, daß es auch Pilze und Algen geben kann.

- Bakterien benötigen eine Energiequelle. Das kann Wärmeunterschied, aber auch eine bestimmte chemische Reaktion sein. Bakterien bevorzugen in der Regel die Reaktion, weil die besser zu steuern ist.
- Bakterien benötigen bestimmte Unebenheiten oder Poren in die sie sich zwecks Koloniebildung einnisten. Hier sind vor allem ölige Oberflächen, Kunststoffe und Härtebeläge ein bevorzugtes Ziel.
- Bakterien benötigen eine gewisse Konstanz der Lebensbedingungen, vor allem zu Beginn der Ansiedelung. Dabei sind sie später durchaus in der Lage die Lebensbedingungen nach Ihren Bedürfnissen zu verändern.
- Bakterien benötigen Zeit, um sich an neue Umgebungen zu gewöhnen.

## Sulfatreduzierende Bakterien

In der Heizungswasserbehandlung wird heute noch häufig Natriumsulfit zur Sauerstoffbindung eingesetzt. Aus Natriumsulfit und Sauerstoff entsteht Natriumsulfat. Da ständig mit einem gewissen Eintrag an Sauerstoff zu rechnen ist, muß das Sauerstoffbindemittel ständig zugesetzt werden. Dies hat Konsequenzen: Zum einen steigt die Leitfähigkeit des Heizungswassers immer mehr an, was den Fluß des Korrosionsstroms erleichtert und zum anderen steigt die Sulfatkonzentration immer weiter, was zur Bildung von Gipskristallen führen kann, wenn Härte im Wasser ist. Außerdem kann das Wasser unter Umständen umkippen. Unter umkippen des Wassers ist in diesem Zusammenhang die Bildung von Schwefel-

# Heizung



**Bild 7** Die Säuremessung ist ein wichtiger Wert beim Heizungswassercheck

wasserstoff zu verstehen. Dadurch versäuert das Wasser, es stinkt sehr eindringlich und ist nebenbei noch giftig. Durch die Absenkung des pH-Wertes wurden starke Korrosionstätigkeiten an den Rohren initiiert. Verursacher sind sulfatreduzierende Bakterien. Diese reduzieren das Sulfat zum Sulfid und verwenden den daraus gewonnenen Sauerstoff zur Oxidation des Eisens in der Rohrleitung. Aus diesem Prozeß gewinnen sie die Lebensenergie. Temperatur und Druck spielen fast keine Rolle, da es die verschiedensten Stämme gibt. Heute wird aus diesem Grund nur noch Sulfit verwendet, wenn es unter ständiger Beobachtung ist. Da zwischenzeitlich andere Verfahren entwickelt wurden, ist der Einsatz von Sulfit zur Sauerstoffbindung in Heizkreisläufen rückläufig.

## Biofouling in Heizungen

Eine andere Art des biologischen Problems in unserer Heizung ist in der biologischen Filmbildung zu sehen. Diese tritt vorwiegend bei Niedertemperaturheizungen mit Kunststoffrohren auf. Dabei nisten sich zunächst Pionierorganismen in den Poren der Oberfläche ein und vermehren sich. Dadurch wird der Boden für andere Organismen bereitet, die sich in diesen bestehenden „Rasen“ einnisten. Dieser Prozeß geht so weit, bis Teile des Rasens abgestoßen werden und an anderer Stelle aufwachsen. Dabei sind die Bakteriengesellschaften in der Lage ihr chemisches Milieu weitgehend selbst zu bestimmen. Das bedeutet, wenn der pH-Wert des Wassers 9

ist, kann an der Oberfläche des Metalls oder Kunststoffes durchaus ein pH-Wert von 4,5 also von Essigsäure sein. Die biologischen Prozesse in diesen gallertartigen Schichten sind äußerst vielfältig und praktisch nicht zu beherrschen. Die Dosierung von giftigen Chemikalien und anderen Bioziden ist in der

Regel nicht erfolgreich, weil nur die oberste Schicht der Bakterien abgetötet wird. Die darunter liegende Schicht hat nun genügend Zeit sich an die giftige Substanz zu gewöhnen und sie sogar zu verstoffwechseln. Man spricht hier von Resistenzbildung, die bei derartigen Gesellschaften sehr schnell geschieht. Auf Dauer kann hier nur durch eine spezielle und gegebenenfalls wiederkehrende Wasserbehandlung eine Verminderung oder gar Lösung des Problems erreicht werden, die zur langsamen „Verbrennung“ des Biofilmes führt. Allerdings sollte bei dieser Methode die Materialspezifikation

on der Heizungsanlage genau geprüft werden, um nicht unerwünschte Nebenwirkungen zu erhalten. Wenn möglich, sind eventuelle Magnesiumbauteile zum Korrosionsschutz für die Dauer der Behandlung zu entfernen. Der pH-Wert darf nicht zu sauer sein (wegen der anderen Metalle). Sollte das nicht möglich sein, ist es günstiger den besonders betroffenen Teil getrennt zu behandeln um gegebenenfalls ein „Kalben“ des Films zu vermeiden.

## Elektrolytischer Korrosionsschutz

Korrosionsvorgänge sind immer mit Stromflüssen verbunden. Es kann versucht werden, dem freiwillig fließenden Strom eine größere Spannung entgegenzustellen, um Korrosion zu vermeiden. Das bekannteste Verfahren ist das mit der Opferelektrode. Dies bedeutet, es wird eine Elektrode aus unedlem Material in den Kreislauf gesetzt. Bei den nachfolgend beschriebenen Methoden kommt vorwiegend sehr reines Magnesium zum Einsatz.

- Wird das Magnesium elektrisch leitend mit allen Metallen verbunden, kommt es zur Aufladung der Werkstoffe gemäß der Spannungsreihe (Bild 4). Diese Aufladung verhindert die Korrosion der Werkstoffe und konzentriert die Korrosion an der Opferelektrode. Der Endpunkt der Wirksamkeit ist dann erreicht, wenn kein Strom mehr in den Leitungen fließt. Nachteil: Im Einzelfall kann die Opferelektrode sehr schnell verbraucht werden, was einen starken Anstieg des pH-Wertes zur Folge hat. Bei härtestabilisiertem oder korrosionsinhibitiertem

Trinkwasser kann es unter Umständen zur Magnesium-Phosphat-Bildung auf der Elektrode kommen. Je nach Wirkstoff kann auch ein anderes Magnesiumsalz gebildet werden, wodurch ein Verbrauch dieser Elektrode bzw. die Wirksamkeit stark eingeschränkt ist.

- Magnesium wird elektrisch isoliert in den Kreislauf gebracht. Das Magnesium reagiert mit dem Wasser, bildet Wasserstoff und Magnesiumhydroxid. Der Wasserstoff reagiert zum Zeitpunkt seines Entstehens mit dem Sauerstoff der im Wasser gelöst ist. Das Magnesiumhydroxid ist eine Lauge und hebt damit den pH-Wert des Heizungswassers an. Dadurch kommt es zur Selbststeuerung der Zersetzung des Magnesiumstabes. Nachteil dieser Methode ist, daß die Härte erhöht wird und durch den alkalischen pH-Wert ungeschützte Aluminiumflächen angegriffen werden können. Hierbei ist es unerheblich, daß Magnesium das unedlere Material gegenüber dem Aluminium ist, da der Angriff nicht vom Magnesium, sondern durch den hohen pH-Wert erfolgt.

- Der Korrosionsspannung wird eine äußere elektrische Spannung entgegengesetzt. Der Stromfluß wird dadurch verhindert. Dieses Verfahren ist in Heizungsanlagen eher unüblich, weil nur selten alle Bauteile erreicht werden und lokale Ströme zwischen zwei benachbarten Bauteilen nicht wirksam unterbunden werden können.

## Sauerstoffbindung

Da bei Korrosionsvorgängen von Eisenmetallen in Heizungen Sauerstoff eine große Rolle spielt, liegt es nahe den Sauerstoff des Heizungswassers zu binden. Bei Systemen, die gänzlich aus Metall bestehen und geschlossen gebaut sind ist dieses Verfahren eher unsinnig, weil der Sauerstoff nur einen kleinen Teil des Korrosionsprozesses verursacht. Besteht eine Anlage jedoch vorwiegend aus Kunststoff, vor allem älterer Bauart und wird die Anlage zudem noch über längere Zeit ausgeschaltet (kaltes Wasser löst Sauerstoff vergleichsweise gut), ist Sauerstoffkorrosion ein Problem. Früher wurde Natriumsulfit eingesetzt, weil es der schnellste Sauerstoffbinder ist. Bei größeren Anlagen wurde und wird zum Teil Hydrazin eingesetzt. Dies ist für kleine Anlagen nicht möglich, obwohl es hervorragende Eigenschaften hat. In der Medizin gilt Hydrazin als krebserregend. Im wesentlichen wird die Sauerstoffbindung nur in begründeten Ausnahmefälle unter Beobachtung angewendet, weil regelmäßig nachdosiert werden muß und das Wasser je nach Sauerstoffbinder kippen kann.

## Idealer pH-Wert

Bei fast allen Korrosionsprozessen ist der pH-Wert eine entscheidende Größe. Es ist allerdings schwierig, einen optimalen Wert einzustellen, wenn ein Mix verschiedenster Materialien im Kreislauf verbaut wurde. Insbesondere das Aluminium ist hier als „Problemkind“ zu nennen. Wird ein pH-Wert eingestellt der für Aluminium einigermaßen paßt, führt dieser bei Eisen bereits zu nennenswerten Korrosionen. Dadurch wird zwangsweise wiederum eine Schutzdosierung für Eisen erforderlich. Das gleiche trifft natürlich auch anders herum zu. Ist der ideale pH-Wert für Eisen eingestellt, muß Aluminium vor Korrosion geschützt werden. Für Abhilfe sorgt hier das neu entwickelte Korrosionsschutz- und Dichtmittel Wasseroptimizer-Liquid zur Heizungswasserbehandlung nach DIN VDI 2035.

## Filmbildung

Die einfachste Methode ist es, Wasser vom Heizungsmaterial zu trennen. Dies kann sowohl mit anorganischen wie auch mit organischen chemischen Verfahren erreicht werden. Die letzteren Verfahren haben den Nachteil, daß Kupfer angegriffen werden kann, wenn mit filmbildenden Aminen oder Amiden gearbeitet wird. Es gibt zwar Ausnahmen, aber die Gefahr bleibt unter bestimmten Umständen prinzipiell bestehen. Die derzeit erfolgreichste Methode ist die Bildung von mineralischen Mikropolymerfilmen auf der Oberfläche der Metalle. Diese sind sehr dicht, fest haftend und müssen nur wenig oder gar nicht nachdosiert werden. Außerdem bieten sie biologischem Befall wenig Angriffsfläche und sind wegen der geringen Stärke auch kein Wärmehindernis. Die Filmbildung hat den Vorteil, daß der Sauerstoffgehalt praktisch nicht relevant ist und die Oberflächen auch dann gut geschützt werden, wenn der pH-Wert nicht ganz im optimalen Bereich ist. Bei der Auswahl der geeigneten Rohstoffe gilt dies auch und gerade für Aluminium.

## Magnetische Behandlung

Die Möglichkeit mit Magneten stabile Magnettschichten auf den Rohinnenflächen auszubilden, ist wenn überhaupt nur auf Eisen vorstellbar. Eine gleichmäßige und dichte Magnettschutzschicht ist bisher im Heizungsbereich unbekannt. Im Höchstdruckkesselbereich, wie beispielsweise in Kraftwerken, werden Magnettschutzschichtbildungen erfolgreich eingesetzt, allerdings auf chemischem Wege. Es bleibt

die Frage, was mit zirkulierenden Korrosionspartikeln im Bereich der Magnete passiert, da diese normalerweise magnetisch angezogen werden.

## Phosphatdosierung zur pH-Korrektur

Die Zugabe von Phosphaten zur Anhebung des pH-Wertes ist nur bei weichem Wasser empfehlenswert, da eine pH-Wertanhebung nur mit bestimmten Ortho-Phosphaten möglich ist und diese mit der Härte ausfallen. Phosphat gibt es in verschiedensten Varianten. Je nach Anwendung ist das entsprechende Produkt zu wählen. Hinzu kommt, daß Phosphat alleine keine besonderen korrosions-inhibierenden Eigenschaften hat und deshalb in der Regel in Verbindung mit Sauerstoffbindern angewendet wird.

**B**ei der Installation einer Heizungsanlage sollten so wenig wie möglich verschiedene Materialien verarbeitet werden, damit die Bildung elektrochemischer Stromquellen vermieden wird. Zudem ist es ratsam, das Heizungssystem grundsätzlich mit weichem Wasser zu befüllen und Maßnahmen zum Schutz vor Korrosion zu treffen. Bei geschlossenen, weitgehend gasdichten Anlagen ohne Aluminium haben sich filmbildende Verfahren sowie der Einbau einer Opferelektrode aus hochreinem Magnesium bewährt. Bei Mischinstallationen mit oder ohne Aluminium, Kunststoffen und diversen Werkstoffen ist die Einspülung eines geeigneten Filmbildners zu empfehlen. Ein Niedertemperaturheizungssystem sollte vor Inbetriebnahme gründlich gereinigt und gespült werden. Bei Altanlagen muß nach Einzelfall entschieden werden, wobei eine fundierte Heizungswasseranalyse zumeist Klarheit schafft. In vielen Fällen ist eine Heizungswasserreinigung- bzw. Sanierung im 4-Stufen-Konzept die sicherste Lösung.



**Mike Hannemann**

ist Inhaber und Gründer der Hannemann Wassertechnik Deutschland, Erding. Er hat ein Heizungswassersanierungs- und Behandlungskonzept entwickelt und bietet ein geprüftes und geschütztes Produkt unter der Marke Wasseroptimizer an. 85457 Wifling-Erding, Telefon (0 81 21) 47 83 60, Telefax (0 81 21) 47 83 89, E-Mail: news@hannemann-wassertechnik.de, Internet: www.hannemann-wassertechnik.de