

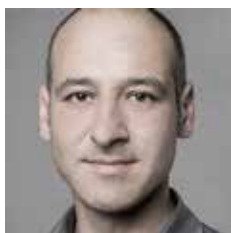
Korrosion in Heiz- und Kühlsystemen

Feldstudie zu Korrosion in TGA-Systemen abgeschlossen – erste Ergebnisse liegen vor

Seit Januar 2015 widmet sich das interdisziplinäre Forschungsteam vom Steinbeis Innovationszentrum SIZ e+ und der Leuphana Universität Lüneburg dem Thema Korrosion in TGA-Systemen. Inzwischen ist die Feldstudie abgeschlossen.



Dr. rer. nat. Oliver Opel, wissenschaftlicher Mitarbeiter, Leuphana Universität, Lüneburg



Dipl.-Ing. Mani Zargari, wissenschaftlicher Mitarbeiter, SIZ energie+



Dr. rer. nat. Tanja Eggerichs, wissenschaftliche Mitarbeiterin, Leuphana Universität, Lüneburg



Dr.-Ing. Stefan Plesser, Projektleiter, stellvertretender Leiter SIZ energie+



MSc. Tobias Otte, wissenschaftlicher Mitarbeiter, Leuphana Universität, Lüneburg



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang K. L. Ruck, Projektleiter, Leuphana Universität, Lüneburg



BSc. Marlies Wiegand, wissenschaftliche Mitarbeiterin, Leuphana Universität, Lüneburg



Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch, Leiter SIZ energie+

Ergebnisse der Feldstudie

Insgesamt wurden 64 Wasserproben aus 21 Gebäuden mit jeweils mehreren Primär- und Sekundärkreisen entnommen und analysiert. Gemessen wurden gelöste und partikuläre Metalle sowie Salzgehalte, Nährstoffe und organische Substanz. Zusätzlich wurden aus 34 Systemen erstmalig Proben für eine Genomanalyse der enthaltenen Mikroorganismen entnommen und analysiert. Die Parameter „pH-Wert“, „Leitfähigkeit“, „Sauerstoffgehalt“, „Redoxpotenzial“ und „Tempe-

ratur“ wurden vor Ort gemessen und nach einer neu entwickelten Methode hinsichtlich der Korrosionsrate und gelöster Korrosionsprodukte ausgewertet. Für acht ausgewählte Systeme werden derzeit Messstrecken für ein kontinuierliches Monitoring installiert.

Die Ergebnisse fügen sich größtenteils in das etablierte Verständnis der in derartigen Systemen ablaufenden Einflussfaktoren für Korrosion ein. Als entscheidende Einflussfaktoren wurden Sauerstoffzutritt und der Chloridgehalt der

Umlaufwässer identifiziert. Als Folge von Sauerstoffzutritt bleibt die für den Korrosionsschutz wichtige Steigerung des pH-Wertes, die Alkalisierung, aus. Dabei spielt der pH-Wert für den Schutz der Anlagen vor Korrosion eine entscheidende Rolle: Er sollte im alkalischen Bereich, oberhalb von pH 8,2 (für Anlagen mit Aluminiumbauteilen) bzw. 8,5 liegen. Über die Art der richtigen Wasseraufbereitung und gegebenenfalls -behandlung sowie über die Werkstoffwahl wurde schon berichtet [Opel et al. 2016] – die Studie bestätigt viele dieser Hypothesen. Einige Ergebnisse sind jedoch darüber hinaus bemerkenswert und sollen hier noch einmal ausführlich betrachtet werden.

Einfluss des Füllwassers – Bedeutung von Chloriden

Es ist bekannt, dass für Korrosionsprozesse die Leitfähigkeit des Umlaufwassers eine Rolle spielt. Die meisten Systeme wiesen Leitfähigkeiten bis 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Bei deutlich darüber liegenden Leitfähigkeiten traten in wenigen Fällen erhebliche Korrosionsschädigungen auf. Unterhalb von ca. 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gab es keine schweren Korrosionsschäden. Für Chloride stellt sich eine signifikante Grenze bei ca. 15 mg/L Chlorid dar (Abbildung 1). Bei Werten unter 15 mg/L Chlorid konnte in keinem System erhöhte Korrosion festgestellt werden. Das ist plausibel: Es ist bekannt, dass Chloride Oxidschutzschichten angreifen, was auch bei Lochkorrosion an Edelstählen eine Rolle spielt. Daher ergibt sich für Chloride eine über die reine Elektrolyteigenschaft hinausgehende, spezifische Interaktion. Diese wirkt unabhängig von anderen Wasserinhaltsstoffen, die die Leitfähigkeit erhöhen. Deutlich zu erkennen ist auch die höhere Korrosionsanfälligkeit von Kaltwasseranlagen: Während hohe Chloridgehalte in Heizungsanlagen mit pH-Werten über 8,5 nur zu gering erhöhter Korrosionsaktivität führen, ist dies bei Kühlanlagen deutlich häufiger der Fall. Gründe hierfür können in einer besseren Sauerstoffver-

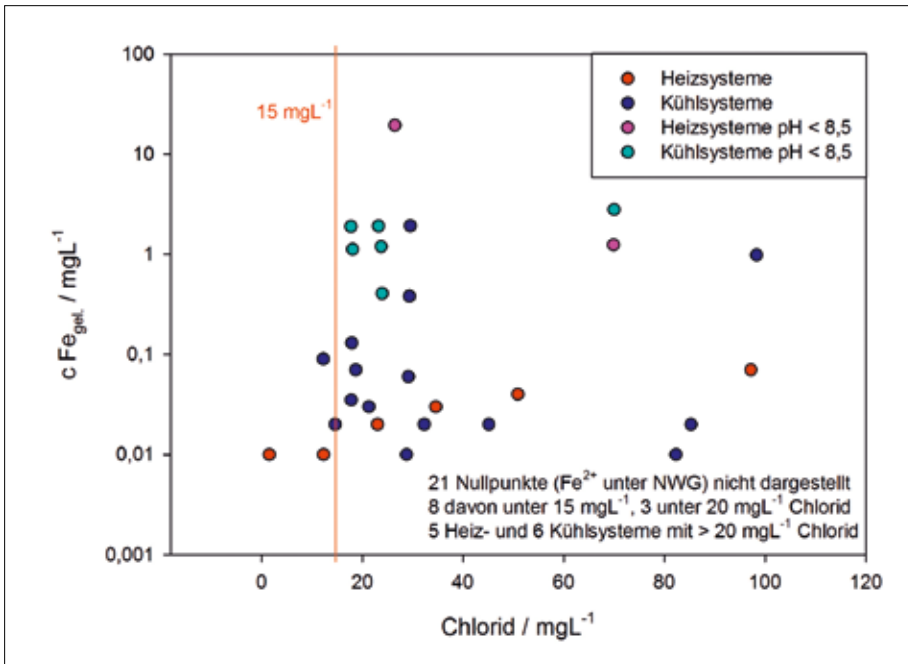


Abbildung 1: Gehalte an gelösten, auf aktive Korrosionsprozesse hinweisenden Korrosionsprodukten (gelöstes Eisen), aufgetragen über dem Chloridgehalt. In Systemen mit Gehalten von weniger als 15 mg/L Chlorid konnten unabhängig von anderen Einflussfaktoren keine signifikanten Korrosionsprozesse festgestellt werden. Grafik: Leuphana

fürbarkeit oder erhöhter mikrobieller Aktivität liegen.

Sauerstoffeintrag

Wie auch bei der Leitfähigkeit ergibt sich für Chloride kein monokausaler Zusammenhang: Höhere Chloridkonzentrationen müssen nicht zwangsläufig zu erhöhter Korrosion führen. Hier spielen weiterhin der pH-Wert und natürlich der Sauerstoffeintrag eine Rolle. Die Parameter lassen sich also nicht getrennt betrachten, sondern hängen zusammen: Die Alkalisierung, die in den ersten Wochen nach Befüllung des Systems bei gleichzeitiger Sauerstoffzehrung stattfindet, ist davon abhängig, dass sich möglichst kein weiterer Sauerstoffeintrag ergibt. In komplett sauerstoffdichten Systemen können daher höhere Leitfähigkeiten und Chloridkonzentrationen tolerierbar sein.

Die Feldstudie zeigt jedoch auch, dass in den meisten eigentlich geschlossenen Systemen Sauerstoffkonzentrationen zwischen 10 und 50 µg/L messbar sind (Abbildung 2), die für sich genommen das Auftreten erhöhter Korrosion jedoch ebenfalls nicht erklären können.

Sauerstoff kann aufgrund seiner niedrigen Viskosität und trotz eigentlich „gasdichter“ Systemausführung in das System gelangen, beispielsweise an Gummidichtungen, Stopfbuchsen, Pressfittings, aber auch durch Entgasungsgeräte. Hier schafft richtig auf-

bereitetes Füllwasser oder die richtige, vorbeugend angewandte Wasserbehandlung notwendige Sicherheiten.

Werden Materialien verwendet, die nicht sauerstoffdiffusionsdicht sind, ist insbesondere bei Verzicht auf Korrosionsschutzmittel auf die ausschließliche Verwendung korro-

sionsbeständiger Materialien (Edelstahl) zu achten. Zum Problem können in solchen Systemen „versteckte“ korrosionsanfällige Bauteile werden, beispielsweise in Pumpen, Wärme- und Kälteerzeugern (Wärmetauscher aus Aluminium oder Baugruppen aus Schwarzstahl) oder Speichern. Messing- und Rotgussbauteile korrodieren insbesondere bei erhöhten Salz- und Sauerstoffgehalten zwar ebenfalls (Stichwort Entzinkung), führen im Allgemeinen aber nicht zu Systembeeinträchtigungen.

Mikrobiologie

Ein weiteres, vom Prinzip her bekanntes, aber im Detail noch sehr wenig erforschtes Korrosionsrisiko geht von Mikroorganismen aus. Mikroorganismen können fast jeden chemischen Vorgang beschleunigen oder bei ansonsten hemmenden Bedingungen für ihre Energiegewinnung nutzen. Außerdem treten sie in einer nahezu unfassbaren Variationsbreite auf. In der abgeschlossenen Feldstudie wurden fast 800 verschiedene Gattungen identifiziert, über die zum Teil bisher nur sehr wenig bekannt ist. Um dennoch mögliche Zusammenhänge zu erkennen, wurden die einzelnen Gattungen nach verschiedenen, aus anderen Ökosystemen bekannten Stoffwechselprozessen geordnet. Dabei dominierten die folgenden Stoffwechselprozesse:

- Eisen- und Schwefeloxidation und -reduktion (mit möglicherweise direkten Auswirkungen auf Korrosionsprozesse),

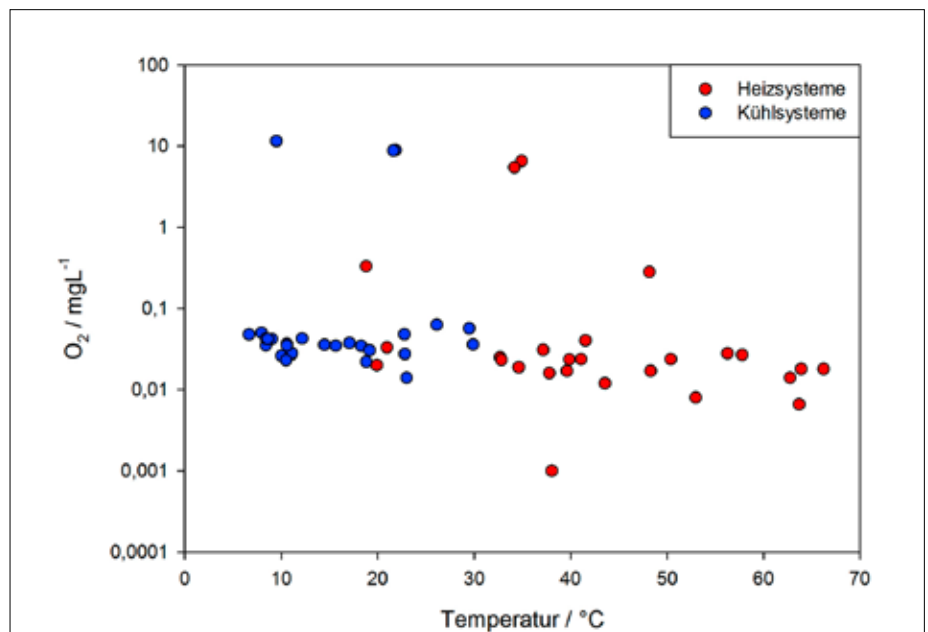


Abbildung 2: Im Rahmen der Feldstudie bestimmte Sauerstoffgehalte in den verschiedenen Systemen. Die meisten Systeme weisen Sauerstoffkonzentrationen von 10 bis 50 µg/L auf. Es ist ein leichter Trend hinsichtlich der Systemtemperatur erkennbar. Grafik: Leuphana



Abbildung 3: Mit sauerstoffdiffusionsdichtem Edelstahl-Wellschlauch angebundene Korrosions-Messstrecke mit Datenlogger und DFÜ-Schaltschrank Foto: SIZ energie+

Ebenso werden die gewonnenen Daten noch nach inneren Abhängigkeiten und nach Abhängigkeiten der Community-Struktur von der Art des Füllwassers und der Temperatur untersucht werden. Weiterhin ist zu klären, welchen Einfluss verschiedene Gemeinschaften auf den Korrosionsprozess tatsächlich haben. Es ist jedoch zu vermuten, dass Mikroorganismen neben den Einflussfaktoren „pH-Wert“, „Sauerstoffgehalt“ und „Leitfähigkeit“ bzw. „Chlorid“ deutlich zur beobachteten Variabilität der untersuchten Anlagenzustände beitragen.

Einsatz von Inhibitoren

Von den 64 untersuchten Proben stammten 14 aus mit Korrosionsschutzmitteln behandelten Systemen. In den wenigsten Fällen konnte ein sachgerechter und effektiver Einsatz dieser Mittel festgestellt werden. Weiterhin wurden häufig dennoch gelöste Korrosionsprodukte gefunden, die jedoch weniger zu entsprechendem Vorkommen an störenden festen Korrosionsprodukten führten. In den meisten Fällen waren diese dennoch vorhanden. Ein Grund dafür ist, dass entsprechende Mittel oft als Abhilfemaßnahme bei problematischen Systemen angewendet werden. Bei der Wahl einer Wasserbehandlung sollte insgesamt große Sorgfalt angewendet werden. Nach Möglich-

- Nitratreduktion (ebenfalls teilweise gekoppelt mit Eisenoxidation) und Stickstofffixierung (um in den ansonsten sehr nährstoffarmen Systemen verwertbare Stickstoffverbindungen für weiteres Wachstum bereitzustellen),
- Biofilmbildner (die einen für andere Arten schützenden Biofilm bereitstellen und selbst durch Verminderung von Wärmeübergängen und Verblockungen zu Problemen führen können) und
- zum Teil komplexe, auch halogenierte organische Moleküle abbauende Mikroorganismen, die auch als Inhibitor verwendete Substanzen verstoffwechseln und in leichter assimilierbare Moleküle umbauen können. Damit können Mikroorganismen potenziell direkt dazu beitragen, dass eingesetzte Inhibitoren ihre Wirksamkeit verlieren.

vermutet, dass ein Unterangebot an Makronährstoffen wie Kalzium, Magnesium, Kalium und Phosphor zu einer Verringerung des Keimwachstums führt. Die genaue Datenanalyse steht diesbezüglich aber noch aus.

Sulfat- und Nitratreduktion trat dabei in fast allen Anlagen mit geringen Sauerstoffgehalten auf. In keiner derartigen Anlage, auch wenn diese nicht mit vollentsalztem Wasser gefüllt war, konnte im Umlaufwasser Nitrat und Sulfat nachgewiesen werden – ein starkes Indiz für entsprechende mikrobiologische Aktivität.

Weiterhin lässt sich sagen, dass jede untersuchte Anlage entsprechende Bakteriengemeinschaften in unterschiedlicher Zusammensetzung beherbergt – aber mit ähnlichen Zellzahlen. Dies gilt offenbar auch für korrosionsgeschützte Systeme. Es wird

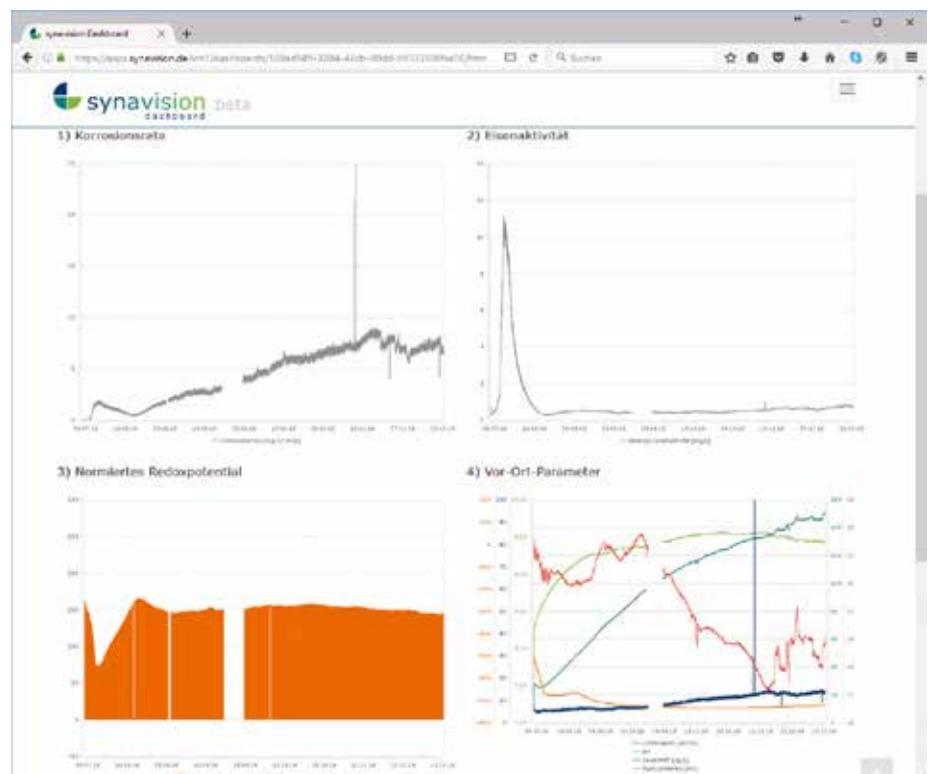


Abbildung 4: Im Projekt EQM:Hydraulik verwendetes Korrosions-Dashboard der Fa. Synavision Screenshot: Leuphana



keit sollte einer systemischen Variante mit vorhergehender chemischer Reinigung der Vorzug gegeben werden.

Feldtest

Korrosionssensor

Die Parameter „pH-Wert“, „Leitfähigkeit“, „Sauerstoffgehalt“, „Redoxpotenzial“ und „Temperatur“ wurden während der Feldstudie in den beprobten Systemen mithilfe einer mobilen Messeinrichtung bestimmt. Neben den für sich bereits auswertbaren Einzelparametern wurden die Aktivität der gelösten Eisenionen und eine sich mit pH-Wert und Sauerstoffgehalt ergebende Korrosionsrate berechnet. Der erhaltene Wert gibt die aktuelle Rate an neu gebildeten festen Korrosionsprodukten an. Es ergab sich ein gewisser Zusammenhang zwischen der berechneten Rate und dem im Systemwasser bestimmten Eisengehalt. Dieser wird von Sedimentation und in den Anlagen installierten Filtern ebenso beeinflusst, wie durch Altablagerungen. Es zeigten sich jedoch weder falsch negative noch falsch positive Ergebnisse.

Im Rahmen der Feldstudie hat sich das Sensorsystem damit als informatives, zusätzliches Werkzeug erwiesen. Eine Ampelfunk-

tion, die zwischen Systemen ohne akute Korrosionsprozesse und aktuell korrodierenden Systemen differenziert, lässt sich bereits mit guter Treffsicherheit realisieren. Durch Analyse der hinter der Ampelwertung stehenden Einzelparameter lässt sich dann eine erste Diagnose für mögliche Ursachen stellen: zu geringer pH-Wert, zu hohe Leitfähigkeit oder erhöhter Sauerstoffgehalt.

Nächster Schritt: Feldtest mit kontinuierlichen Messungen

Eine deutlich höhere Aussagekraft als Einzelmessungen besitzen kontinuierliche Messungen mit der Möglichkeit zur Verlaufsbeobachtung und -auswertung. Abbildung 3 zeigt eine erste, in einem Gebäude installierte Messstrecke, Abbildung 4 das im Rahmen des Forschungsprojekts genutzte, Web-gestützte Dashboard zur Anzeige der Messdaten und Auswertungen. 2017 sollen noch sechs weitere Messstrecken fest installiert und dem Feldtest unterzogen werden. Weiterhin ist die Verwendung zur Beobachtung von Inbetriebnahmeprozessen geplant, um frühzeitig Hinweise auf schlechte Alkalisierung oder starke mikrobiologische Aktivität erhalten und rechtzeitig reagieren zu können.

Fazit

Die Ergebnisse der Feldstudie bestätigen im Wesentlichen die Notwendigkeit der bedachten Materialwahl und des richtigen Füllwassers. Das ist insbesondere bei Kühlsystemen wichtig, die eine deutlich höhere Anfälligkeit für Korrosionsprobleme zeigen. Eine Ursache ist das Fehlen einer technischen Regel für derartige Anlagen – hier wird die bald erscheinende BTGA-Regel 3.003 Abhilfe schaffen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass Bakterien gerade in Kühlsystemen einen signifikanten Einfluss haben. Hier werden noch weitere interessante Ergebnisse aus der in dieser Detaillierung bislang einmaligen Feldstudie erwartet.

Das Sensorsystem hat sich als wertvolles Werkzeug für die Diagnose von Bestandssystemen erwiesen und wird im weiteren Verlauf für kontinuierliche Messungen getestet. ◀

Literatur

Opel, O., Eggerichs, T., Otte, T., Wiegand, M., Zargari, M., Plesser, S., Ruck, W.K.L., Fisch, M.N. (2016): Korrosion in Heiz- und Kühlsystemen. BTGA-Almanach 2016, S. 42-45.

www.facebook.com/brochiergruppe



BROCHIER 

Energieeffizienz und Nachhaltigkeit seit 144 Jahren



- Sanitär
- Heizung
- Elektro
- Kälte/Lüftung/Klima
- Anlagentechnik
- Technisches Gebäudemanagement
- Regelungstechnik
- Kanalsanierung
- Nutzung regenerativer Energien
- Bäder

BROCHIER Gruppe
Marthastraße 16, 90482 Nürnberg
Telefon 0911 5442-0
Telefax 0911 5442-208
E-Mail info@brochier-gruppe.de



www.brochier-gruppe.de