

Untersuchung zur Aufklärung von neuartigen Schäden durch Lochkorrosion an Trinkwasser- Installationen aus Kupfer

Management Summary

Dr.-Ing. Angelika Becker
IWW GmbH, Mülheim/Ruhr

Herausgeber

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.

Technisch-wissenschaftlicher Verein

Josef-Wirmer-Straße 1–3

53123 Bonn

T +49 228 91885

F +49 228 9188990

info@dvwg.de

www.dvgw.de

**Untersuchung zur Aufklärung von neuartigen
Schäden durch Lochkorrosion an Trinkwasser-
Installationen aus Kupfer**

Management Summary

September 2017

DVGW-Förderkennzeichen W201608
(W 5/01/15)

Hintergrund

Seit ca. 2005 häufen sich Informationen über Schäden an Trinkwasser-Installationen aus Kupfer mit Erstellungsdatum nach 2000 und Anfragen zur Klärung der Ursache dieser Schäden. Die Schäden treten an Kupfer-Installationen gleichermaßen in Kontakt mit kaltem und erwärmtem Trinkwasser auf, betroffen von diesen Schäden sind Kupferrohre der Festigkeit halbhart (R 250), die grundsätzlich für den Einsatz im Trinkwasserbereich geeignet sind.

Die Diskussionen in unterschiedlichen Expertentreffen (DVGW, GfKORR, VDI, DKI) und der damit verbundene Erfahrungsaustausch im Verlauf des Jahres 2015 haben gezeigt, dass die existierende Informationsbasis nur rudimentär vorhanden ist und auch die Einschätzung der Signifikanz dieser Problematik bei den beteiligten Kreisen (z.B. Industrie, Handwerk, Versicherungen, Sachverständigenwesen, Wasserversorger, Verbraucher/Betreiber) sehr unterschiedlich ausgeprägt ist.

Daher hat sich der DVGW dazu entschlossen, in einem vom DVGW geförderten Projekt zunächst die Datenbasis zu erhöhen und die Signifikanz des Problems zu bewerten.

Strukturell gliedert sich das Forschungsprojekt in

- a) Erhöhung der Datenbasis zur Ermittlung schadensauffälliger Versorgungsgebiete zur Bewertung der Signifikanz des Problems (Umfrage bei DVGW-Mitgliedsunternehmen)
- b) Untersuchung schadhafter Rohre und Typisierung der Erscheinungsformen

Als allgemeine Zielsetzung des Projektes ergeben sich folgende Schwerpunkte:

- Ableitung erster Hinweise und Indizien als Vorstufe zur Klärung der Ursache der Schäden an halbharten Kupferrohren im kalten Trinkwasser und im erwärmten Trinkwasser
- Ableitung des weiteren Forschungsbedarfs auf Basis der Untersuchungsergebnisse aus der Umfrage (Signifikanz der Problematik) und der Schadensanalyse (fehlende Bausteine zur Klärung der Ursachen und Möglichkeiten der Abhilfe)
- Formulierung von Ansätzen für die folgenden Untersuchungen (Fortführung des Forschungsprojektes).

Der Untersuchungsauftrag im Rahmen dieses Projektes besteht somit nicht in der Klärung der Ursache der Schäden, sondern umfasst ausschließlich eine Bestandsaufnahme.

Ergebnisse der Untersuchungen

1 Bewertung der Repräsentativität und der Signifikanz des Problems

An der Umfrage nahmen 225 DVGW-Mitgliedsunternehmen aus 13 Bundesländern teil. Es konnten bundesweit 55 Versorgungsgebiete identifiziert werden, in denen Schäden an Kupfer-Installationen aufgetreten sind oder aktuell noch auftreten. Die Ermittlung von 32 Versorgungsgebieten aus 11 Bundesländern basieren auf den Umfrageergebnissen. Aus zusätzlich 23 Versorgungsgebieten (aus Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen) standen geschädigte Kupferrohre zur Auswertung zur Verfügung.

Das bundesweite Ranking zeigt den größten Anteil an schadensauffälligen Gebieten in Nordrhein-Westfalen (10) und Niedersachsen (5). Aus Baden-Württemberg, Bayern und Hessen wurden jeweils drei schadensauffällige Gebiete gemeldet, aus Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein jeweils zwei, aus Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen jeweils ein Versorgungsgebiet.

Lochkorrosionsschäden treten gleichermaßen im erwärmten Trinkwasser und kalten Trinkwasser auf. In zehn Versorgungsgebieten treten Schäden nur nach dem Jahr 2000 auf, d.h. hier sollte es sich in der Mehrzahl um Installationen handeln, in denen halbharte Kupferrohre verwendet wurden. Ein gleich großer Anteil der Schäden bezieht sich auf hartgelötete bzw. wärmebehandelte Kupferrohre (nur vor 2000). In zehn Versorgungsgebieten traten Schäden sowohl vor als auch nach 2000 auf, daher sollten beide Installationstypen betroffen sein.

Korreliert man diese Ergebnisse mit der Einschätzung der Häufigkeit des Einsatzes von Kupfer in Trinkwasser-Installationen, so schätzen die Mehrheit der befragten Wasserversorger (jeweils größer 70 % der Antworten) in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen den Anteil dieses Werkstoffs in der Trinkwasser-Installation auf zwischen 60 und 80 %. In Schleswig-Holstein und Rheinland-Pfalz liegt der geschätzte Anteil zwischen 40 und 60 %, in Hessen zwischen 20 und 60 %, in Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Baden-Württemberg zwischen 20 und 40 %, in Bayern und Brandenburg zwischen 0 und 20 %.

Bei den Informationsquellen hinsichtlich der Schäden an Installationsmaterialien überwiegt der regelmäßige Austausch zwischen Wasserversorgern und den Installateuren (71 %), dicht gefolgt von Informationen durch Verbraucher (61 %). Aus diesem Grund ist prinzipiell von einem ausreichend guten Kenntnisstand der Wasserversorger über die Situation in ihrem Versorgungsgebiet auszugehen, so dass die erhobenen Daten als belastbar angesehen werden können.

Das Ergebnis der Umfrage entspricht der allgemeinen regionaltypischen Einschätzung der Verteilung der Rohrwerkstoffe, ohne dass allerdings auf entsprechende Statistiken zurückgegriffen werden kann. Traditionell wird Kupfer als Installationsmaterial in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen bevorzugt eingesetzt, d.h. in diesen Bundesländern sollte die Schadenswahrscheinlichkeit somit prinzipiell höher sein. Kupfer wurde in Norddeutschland zunächst nur für erwärmtes Trinkwasser eingesetzt, seit den frühen 1970er Jahren auch im Bereich Trinkwasser, kalt speziell in Hamburg bereits früher.

Ein geringerer Einsatz von Kupfer ist bei den neuen Bundesländern zu erwarten, da davon auszugehen ist, dass bei der Reparatur oder Neuerstellung der Trinkwasser-Installation gleich auf andere Werkstoffe, wie Kunststoffe gesetzt wurde, zumal hier ausreichende Erfahrungen bereits zur Verfügung standen. Auch in Süddeutschland wird Kupfer traditionell eher geringer eingesetzt, was sich in der Umfrage an den Rückmeldungen aus Bayern zeigt.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass Schäden durch Kupferlochkorrosion kein singuläres Problem vereinzelter Versorgungsgebiete darstellt, sondern in unterschiedlichen Bundesländern auftritt und aktuell ist.

Im Rahmen der Umfrage wurden von den 55 Wasserversorgern Analysendaten des Trinkwassers zur Verfügung gestellt. Zur Bewertung der Schwankungsbreite der Wasserparameter wurden überwiegend Analysen aus mehreren Jahren ausgewertet. Da bei einigen Wasserversorgern mehrere Versorgungsgebiete betroffen waren, stand ein Pool von 100 Trinkwässern unterschiedlichster Beschaffenheit zur Verfügung, die auf Basis bekannter Bewertungsmodelle aus der Literatur für Lochkorrosion im Kalt- und Warmwasserbereich ausgewertet wurden.

Die für Lochkorrosion im Trinkwasser zur Auswertung herangezogenen Trinkwässer sind mehrheitlich in den Härtebereichen mittel und hart einzuordnen, ca. 15 % der Wässer (Trinkwasser, kalt) bzw. 20 % (Trinkwasser, warm) gehören in den Härtebereich weich.

Zur Bewertung der Ableitbarkeit bestimmter wasserseitiger Charakteristika wurde ein weiterer Datensatz von 100 Wässern aus Versorgungsbereichen hinzugezogen, in denen keine Lochkorrosion an Kupfer-Installationen bekannt ist.

Die Ergebnisse der Umfrage können in den folgenden Kernpunkten zusammengefasst werden:

- Schäden durch Kupferlochkorrosion sind kein singuläres Problem vereinzelter Versorgungsgebiete, sondern treten in unterschiedlichen Bundesländern auf und sind aktuell.
- Neben den aktuellen Schäden an halbharten Kupferrohren treten auch immer noch Schäden an hartgelöteten Kupfer-Installationen auf. Da seit 1996 ein Hartlötverbot besteht, muss es sich bei diesen Schäden um Schäden an Alt-Installationen handeln.
- Schäden sind sowohl im kalten als auch im erwärmten Trinkwasser zu verzeichnen.
- Es konnte auf Basis der im Rahmen der Umfrage ermittelten und ausgewerteten Trinkwasseranalysen keine Korrelation von Wasserparametern ermittelt werden, die auf besondere lochkorrosionsbegünstigende Eigenschaften eines Trinkwassers hinweist.

2 Untersuchung schadhafter Rohre und Typisierung der Erscheinungsformen

Für die Untersuchungen standen 100 schadhafte Rohre aus 75 Trinkwasser-Installationen aus 23 Versorgungsgebieten zur Verfügung. Es handelt sich um Rohre verschiedener Hersteller, die für den Einsatz im Trinkwasserbereich geeignet sind und eine entsprechende Zertifizierung aufweisen.

Die Untersuchungsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Schäden an halbharten Rohren sind im Gegensatz zu den hartgelöteten harten Kupferrohren unabhängig von der Verbindungstechnik. Sie treten sowohl bei waagrecht als auch senkrecht verlegten Rohren in der gestreckten Rohrlänge auf.
- Das Neuartige an diesen Schäden besteht somit darin, dass es nunmehr keines direkten Auslösers mehr bedarf, wie z.B. einer massiven Wärmebehandlung bei der Verarbeitung („hartgelötete harte Kupferrohre“), um Lochkorrosion zu erzeugen.
- Besondere Erscheinungsformen an halbharten Kupferrohren, wie die Verästelung der Korrosionsangriffe und die Tunnelbildung, können im kalten Trinkwasser nicht bestimmten Wässern zugeordnet werden. Sie stellen wahrscheinlich eine spezielle Form der Korrosionsangriffe unter Anfangskorrosionsbedingungen dar, wie sie teilweise auch in der Wärmeeinflusszone der hartgelöteten harten Kupferrohre entlang der Korngrenzen auftreten. Bei den halbharten Rohren entspricht die Morphologie der Lochfraßstellen in Struktur und Zusammensetzung im weiteren Verlauf des Lochwachstums im Wesentlichen derjenigen von Lochkorrosion Typ 1.
- Verzweigte und zur Untertunnelung neigende Korrosionsangriffe im ersten Stadium des Lochwachstums können sowohl an harten, hartgelöteten (ausschließlich in der Wärmeeinflusszone) als auch an halbharten Kupferrohren festgestellt werden.
- Die Intensität der Schäden, d.h. die Anzahl der Schäden pro m Rohrlänge, war bei den halbharten Rohren in der Regel deutlich größer.
- Im Gegensatz zu den Schäden im kalten Trinkwasser bleibt die einmal gebildete verästelte Struktur der Korrosionsangriffe sowie die Tunnelbildung im erwärmten Trinkwasser (Lochkorrosion Typ 2) in der Regel bis zum Durchbruch der Rohrwand erhalten. Erklärungsmodelle für die Ausbildung dieser Strukturen sind nicht bekannt.
- Die beobachtete Wellenbewegung der Schadensmaxima und das Auftreten von ersten Schäden nach langer Betriebszeit bei hartgelöteten Kupferrohren können darauf zurückzuführen sein, dass ein zyklischer bzw. alternierender Wachstumsprozess der Lochfraßzellen vorliegt.

3 Erste Anhaltspunkte für die Ursache der Schäden an den halbharten Kupferrohren

Bei den halbharten Rohren fehlen bisher Erklärungsmodelle für den Schritt der Initiierung von Lochkorrosion (Lochkeimbildung), wie dies z.B. die besondere (korrosionskritische) Struktur der Oxidschicht nach dem Hartlöten darstellt.

Zur Untersuchung der Werkstoffoberfläche (Oxidschichten) wurden Rohre aus dem Handel gekauft und von Installateuren Rohrstücke aus alten Bauvorhaben zur Verfügung gestellt, die noch keinen Kontakt zu Trinkwasser hatten.

Die orientierenden Untersuchungen der Werkstoffoberfläche können in folgenden Kernpunkten zusammengefasst werden:

- Die beim Herstellungsprozess applizierten Oxidschichten können eine Morphologie aufweisen, wie sie in ähnlicher Weise bei hartgelöteten harten Kupferrohren nachgewiesen wurde.
- Die Oxidschicht weist Mikrodefekte, wie Risse, Abplatzungen, freiliegende Korngrenzen, Spalten und Hohlräume auf, die Ausgangspunkte für Lokalkorrosion sein können. Die teilweise großflächig fehlende Oxidschicht und das Auftreten von Rissen in der Oxidschicht entlang der Ziehriefen weisen auf das Ablösen der Schicht (ggf. Erzeugung von Druckspannungen, Risse) beim Ziehprozess hin.
- Die Randbedingungen, wann diese Oberflächenstruktur als kritisch zu bewerten ist, ist durch weitere Untersuchungen zu überprüfen.
- Aufgrund der Lagerung und des Transportes an den Rohrenden nicht verschlossener Kupferrohre und der Verarbeitung unter Baustellenbedingungen ist nicht auszuschließen, dass Fremdpartikel und Verschmutzungen auf die Kupferoberfläche gelangen. Die Wechselwirkung der Partikel/Verschmutzungen mit Kondenswasser (Druckprüfung mit Druckluft), kann grundsätzlich die Lochkeimbildung bereits vor und während der Inbetriebnahme der Installation fördern.
- Inwieweit diese Lochkeime zu aktivem Lochfraß stabilisiert werden können, ist dann auf die Zeit zwischen Inbetriebnahme und Regelbetrieb (längere Stagnation) sowie auf die Betriebsbedingungen zurückzuführen.
- Der im Kaltwasserbereich auch bei Rohren in Steigleitungen anzutreffende Halbschaleneffekt der Deckschichten bei halbharten Kupferrohren ist vermutlich auf eine unterschiedliche Oxidschichtdicke und -struktur zurückzuführen. Die Ursache dieser Erscheinungsformen ist wahrscheinlich eine ungleichmäßige Oxidation der Innenoberflächen im Zuge des Herstellprozesses.

Bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse ist zu berücksichtigen, dass sich diese Erkenntnisse ausschließlich auf morphologische Untersuchungen der Kupferoxidschicht stützen. Zur Absicherung dieser Ergebnisse ist noch Forschungsbedarf vorhanden.

4 Schlussfolgerungen

In der Gesamtschau der Untersuchungsergebnisse ergeben sich Hinweise, dass sich das Korrosionsverhalten der halbharten und der harten Kupferrohre insbesondere bei Kontakt mit Trinkwasser, kalt, unterscheidet.

Ordnet man die zurzeit bekannten Prozesse der Lochkorrosion an Kupferrohren in die Hauptprozesse Schadensauslösung (Lochbildung) und Schadensfortschritt (Lochwachstum) ein, so ist unter der Voraussetzung, dass keine Verarbeitungs- oder Inbetriebnahmeprobleme (z.B. Eintrag von Partikeln, Fremdstoffen; unvollständiges Spülen) vorliegen, der Zustand der Werkstoffoberfläche inklusive der Eigenschaften der (primären) Oxidschichten möglicherweise an der Schadensauslösung beteiligt. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse der Rohrinnenflächen von Rohrproben von vier Herstellern unterschiedlicher Nennweiten zeigen Oberflächeninhomogenitäten in der Oxidschicht u.a. in Form von Rissen, Abplatzungen und freiliegenden Korngrenzen. Der Zustand der Werkstoffoberfläche würde in diesen Fällen dem gängigen Verständnis zur Initiierung von Lokalkorrosion entsprechen und den Anforderungen an eine gleichmäßig ausgebildete schützende Oxidschicht widersprechen, die dann in dieser rissigen Form nicht mehr als Schutzschicht fungieren kann.

Auf Basis der Auswertung von 200 Trinkwässern (100 Wässer aus Versorgungsgebieten mit Kenntnis von Lochkorrosionsschäden, 100 Wässer aus der Umfrage aus Gebieten ohne Kenntnis von Schäden) konnte auf der Basis der im Rahmen der Umfrage ermittelten und ausgewerteten Trinkwasseranalysen keine Korrelation von Wasserparametern ermittelt werden, die auf lochkorrosionsbegünstigende Eigenschaften hinweisen würden.