IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

Bewertung des Korrosionsverhaltens der im Rohrnetz und in der Trinkwasser-Installation verlegten Rohr- und Armaturen-Werkstoffe

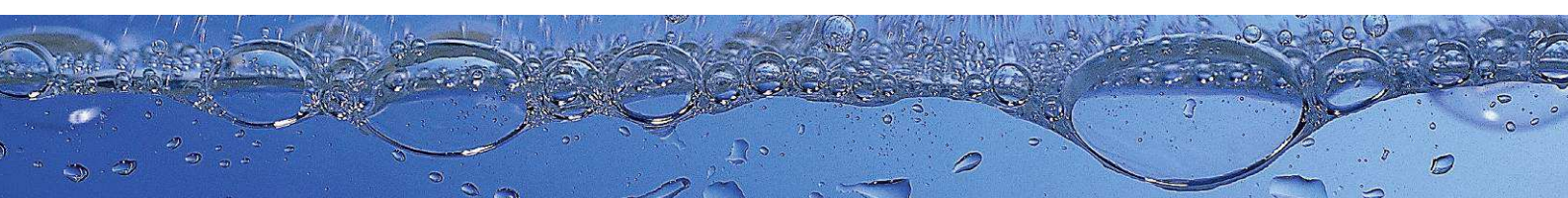
Bewertung der Änderung der wasserseitigen Korrosionsbedingungen der Wasserversorgung aus dem Wasserwerk Eichenkamp

Bericht zum Angebot 10269/2014/23103

Oktober 2014

Wasserwerk der Stadt Bornheim
Die Betriebsleitung

Betriebsführung durch den StadtBetrieb Bornheim AöR



Bearbeitung

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH
Moritzstraße 26
45476 Mülheim an der Ruhr

www.iww-online.de

Dr.-Ing. A. Becker
Telefon: 0208 40303-260
a.becker@iww-online.de

StadtBetrieb Bornheim AöR
Projekt- und Betriebsmanagement Wasser
und Abwasser
Technische Leitung
Donnerbachweg 15
53332 Bornheim

Frau Gabriela Geyer-Hehl
Telefon: 02227 9320 40
gabriela.geyer.hehl@sbbonline.de
www.stadtbetrieb-bornheim.de

Bearbeitungszeitraum: Oktober 2014

Zur besseren Lesbarkeit wird nicht zwischen weiblichen und männlichen Berufsbezeichnungen unterschieden; es sind immer beide Geschlechter gleichberechtigt angesprochen.

IWW\Ga_Bornheim_Korrosion_2014

Zusammenfassung der Ergebnisse

Der StadtBetrieb Bornheim AöR beauftragte IWW, ein Gutachten über die zu erwartenden korrosionschemischen Konsequenzen bei zukünftiger, ausschließlicher Verteilung des Trinkwassers des Wahnbachtalsperrenverbandes (WTV) zu erstellen und zu bewerten.

Das Gutachten kommt zu folgendem Ergebnis:

Bei den im **Rohrnetz** verlegten metallenen Rohrleitungen ist das Korrosionsverhalten der Guss- und Stahlrohre ohne inneren Korrosionsschutz unter dem Blickwinkel auftretender Rostwasserprobleme zu betrachten. Das Gefährdungspotenzial steigt deutlich in denjenigen Netzbereichen, in denen momentan schon Trübungsprobleme auftreten. Diese Einschätzung gilt insbesondere für Netzbereiche, in denen die Fließgeschwindigkeit unterhalb von 0,05 m/s liegt und diese Rohre verlegt sind.

Für neue Rohre mit Zementmörtelauskleidung wäre mit einer Erhöhung des pH-Wertes bei Verteilung des Trinkwassers des WTV zu rechnen. Im Versorgungsbereich Bornheim ist dies in der Praxis kein Problem, da für Neuverlegungen ausschließlich PE-Rohre verwendet werden.

Für Asbestzementrohre ergeben sich korrosionschemisch gesehen keine grundsätzlichen Änderungen des Korrosionsverhaltens im Vergleich zur derzeitigen Situation, da die Stabilität der Rohre (im Hinblick auf Innenkorrosion und Freisetzung von Fasern) in erster Linie durch die Calcitlöseeigenschaften des Wassers beeinflusst werden.

Für die **Trinkwasser-Installation** ergeben sich unter hygienischen Gesichtspunkten keine Änderungen zur Zulässigkeit des Einsatzes für Kupfer, Kupferwerkstoffe (Messing, Rotguss) innenverzinntem Kupfer und nichtrostendem Stahl bei ausschließlicher Verteilung des Trinkwassers des WTV.

Bei **Alt**-Installationen aus Kupfer, in denen kritische Verbindungs- und Verarbeitungstechniken angewendet wurden (Hartlöten, Ausglühen zum Biegen), und somit Vorschädigungen der Rohre im Bereich der Wärmebehandlungsstellen vorhanden sind, sind Schäden durch Kupferlochkorrosion aufgrund der deutlich geringeren Pufferung des Trinkwassers des WTV nicht auszuschließen. Bei Einsatz neuer Kupferrohre (im Wesentlichen Pressfittingverbindungen) lassen sich momentan keine wasserseitigen Kriterien ableiten, die auf ein erhöhtes Korrosionsrisiko durch die beabsichtigte Änderung der Wasserbeschaffenheit hinweisen.

Schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe dürfen bei der derzeit verteilten Wasserqualität auf Basis der wasserseitigen Anwendungsgrenzen der DIN 50930-6 nicht mehr eingesetzt werden. Bei Austausch und Ersatz von Teilen der Installation und Reparaturmaßnahmen an

Hausanschlussleitungen aus verzinktem Stahl ist im Vorfeld nachzuweisen, dass unter hygienischen Gesichtspunkten die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung eingehalten werden.

Für bereits verlegte, alte Installationen aus verzinktem Stahl ändern sich die Korrosionsverhältnisse dahingehend, dass aufgrund der geringen Pufferung des Wassers und unter Berücksichtigung der ungünstigen Betriebsbedingungen mit langen Stagnationszeiten des Wassers in der Rohrleitung die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Rostwasserproblemen deutlich zunimmt.

Der Grenzwert für Blei kann bei Vorhandensein von Bleileitungen (Trinkwasser-Installation, Hausanschlussleitungen) ab Dezember 2013 nicht eingehalten werden. Sollte dieser Werkstoff noch eingesetzt sein, muss er ausgetauscht werden – unabhängig von der Wasserbeschaffenheit. Eine Teilsanierung derartiger Installationen ist nicht sinnvoll.

Empfehlungen

Wenn die StadtBetriebe Bornheim sich entschließen sollten, zukünftig ausschließlich das weichere Trinkwasser des Wahnbachtalsperrenverbandes zu verteilen, wird die Entwicklung eines angepassten Spülprogrammes empfohlen, da mit einer Erhöhung des Rostwasserbildungspotenzials zu rechnen ist. Es ist nicht davon auszugehen, dass es sich nur um temporäre Probleme in der Phase der Umstellung der Wasserqualität handeln wird.

Im Falle der Umstellung der Wasserqualität auf das Trinkwasser des WTV (sofort 100%) als auch bei einer stufenweisen Erhöhung des Mischungsanteils des Trinkwassers des WTV bis auf 100 %, wird empfohlen, im Vorfeld der Maßnahme eine Bestandsaufnahme der Situation im Rohrnetz durchzuführen. Bausteine dieser Bestandsaufnahme wäre die Beschreibung der Ablagerungsprozesse im Netz, die Analyse von Spülwässern zur Unterscheidung zwischen korrosionsbedingtem Eintrag und Mobilisierungsanteil von Ablagerungen, Onlinemessungen der Trübung in neuralgischen Rohrnetzbereichen. Über die statistische Auswertung der Daten und ihrer Bewertung in Form einer Risikoanalyse, z.B. mit Ampelfunktion, lässt sich abschätzen, wie stark sich die korrosionschemische Situation des Rohrnetzes in Abhängigkeit der stufenweisen Erhöhung des Anteils des Trinkwassers des WTV in Richtung einer höheren Korrosionsintensität verschiebt.

Bei einem Vergleich der beiden Konzepte ist festzustellen, dass bei einer sofortigen, vollständigen (100%) Umstellung der Wasserqualität größere Korrosionsprobleme zu erwarten sind als bei einer stufenweisen Umstellung. Der Vorteil der stufenweisen Umstellung der Wasserqualität, z.B. in 10%-Schritten, ermöglicht eine analytische Begleitung der Auswir-

kungen der Korrosionserscheinungen sowohl auf das Verteilungsnetz als auch die Trinkwasser-Installation der Verbraucher.

Für die Bestandsaufnahme im Vorfeld und die laufende Begleitung der Umstellung der Wasserbeschaffenheit sind zusätzliche Kosten in einer Höhe von ca. 30.000 bis 50.000,- € zu berücksichtigen. In dieser Kostenabschätzung ist nicht der Personalaufwand auf Seiten des StadtBetriebes für die Durchführung der Spülmaßnahmen und – je nach erstellter Konzeption – der Spülmaßnahmen von Fremddienstleistern enthalten (z.B. Impulspülverfahren, Ice-Pigging etc).

Inwieweit die Dosierung eines Korrosionsinhibitors in Erwägung gezogen werden sollte, richtet sich insbesondere danach aus, in welchen Anteilen noch alte Trinkwasser-Installationen aus verzinktem Stahl im Versorgungsbereich vorhanden sind und inwieweit momentan schon Kundenreklamationen über Trübungsprobleme existieren. Diese Unterlagen wären zu sichten und entsprechend auszuwerten.

Sowohl bei der sofortigen Umstellung auf das Trinkwasser des WTV als auch bei der schrittweisen Umstellung kann die Situation entstehen, dass sich die Korrosionsintensität im Hinblick auf Trübungen und Rostwasserbildung ab einem bestimmten Mischungsverhältnis nicht mehr ohne die Dosierung eines Inhibitors beherrschen lassen. Dies gilt dann gleichermaßen für das Verteilungsnetz als auch für die Trinkwasser-Installation der Verbraucher aus verzinktem Stahl. Für die Gewährleistung der Einhaltung des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 0,2 mg/l am Zapfhahn des Verbrauchers ist dann zu berücksichtigen, dass die Eisenkonzentration am Hauseingang nur 50% des Grenzwertes für Eisen, also 0,1 mg/l Fe betragen darf (50%-Regel der 4MS-Gruppe, DIN 50930-6).

Falls die Dosierung eines Inhibitors notwendig sein sollte, so sollten im Vorfeld zusätzliche Untersuchungen in Prüfständen im halbtechnischen Maßstab zur Auswahl des geeigneten Inhibitors inklusive der notwendigen Konzentration durchgeführt werden (DVGW W 215-1; DVGW W 215-2). Der Untersuchungszeitraum beträgt erfahrungsgemäß 1 bis 2 Jahre; zusätzliche Kosten wären in der Größenordnung von ca. 80.000,- € zu berücksichtigen. Im Falle der Notwendigkeit der Dosierung eines Inhibitors wären die Investitionskosten und die laufenden Betriebskosten der großtechnischen Anlage zu berücksichtigen. Im Hinblick auf die laufenden Betriebskosten ist eine Minimierung der Inhibitorkonzentration auf eine Erhaltungskonzentration in der Regel möglich, allerdings bleibt unter gleichbleibenden Bedingungen die Inhibitordosierung dann eine ständige Maßnahme.

Bei Umstellung auf das Trinkwasser des WTV wird empfohlen, die Hausanschlussleitungen aus Guss und Stahl sukzessive zu erneuern.

Eine Erhöhung des Mischungsverhältnisses des Anteils des Trinkwassers des WTV auf 30 bis 35% würde aus korrosionschemischer Sicht – unabhängig von den eingesetzten metallenen Rohr- und Armaturenwerkstoffen – nur eine geringfügige Änderung der Korrosionsbedingungen nach sich ziehen, da die Erhöhung des Mischungsanteils zwar die Pufferung des Wassers herabsetzt, allerdings gleichzeitig auch die Anionenkonzentration verringert wird, so dass sich in der Gesamtsumme die unterschiedlichen Effekte nivellieren sollten. Die Calcitlösekapazität des Mischwassers liegt bei den hier angedachten Mischungsverhältnissen etwas oberhalb des Grenzwertes des Calcitlösevermögens am Wasserwerksausgang, allerdings unterhalb des im Versorgungsgebiets angesetzten Grenzwertes von 10 mg/l $CaCO_3$, so dass auch im Falle der Asbestzementrohre keine nachteiligen Konsequenzen zu erwarten sind.

Im Versorgungsbereich der StadtBetriebe Bornheim sind noch Asbestzementrohre verlegt. Da der Zustand der Innenoberfläche der Asbestzementrohre und damit die Fixierung der Fasern von der gesamten Betriebsdauer abhängen, entziehen sich diese Rohre in der Regel einer schlüssigen Bewertung allein auf Basis der Trinkwasserbeschaffenheit. Daher lassen sich belastbare Informationen nur über eine Bewertung des Korrosionszustands an ausgebauten Rohrproben ermitteln. Diese Rohrproben können z.B. im Zuge von Rohrbrüchen und/oder bei allgemeinen Sanierungsmaßnahmen geborgen und zur Untersuchung zur Verfügung gestellt werden.

IWW ist gern bereit, ein Untersuchungskonzept für die Zustandsbewertung von Asbestzementrohrleitungen zur Verfügung zu stellen und ein angepasstes Spülprogramm zur Vermeidung von Rostwasserproblemen im Rohrnetz, die Prüfung und Auswahl eines geeigneten Inhibitors sowie ein Konzept zur Bestandsaufnahme zu entwickeln.

Die Berichtsversion als pdf ist nicht unterschrieben. Bitte vergleichen Sie im Zweifelsfall das unterschriebene Original.

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

Mülheim an der Ruhr, den 22.10.2014

. i.V.

Dr.-Ing. W. Merkel Dr.-Ing. A. Becker

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung und Ziel des Projektes**	**1**
1.1	Auftrag und Projektdurchführung	2
2	**Allgemeine Ausführungen zu den Wechselwirkungen von Werkstoffen und Trinkwasser**	**3**
2.1	Trinkwasserverordnung 2001 und Werkstoffe in der Trinkwasser-Verteilung und Trinkwasser-Installation – aktueller Sachstand	3
2.2	Korrosionsverhalten metallener Installationswerkstoffe bei Kontakt mit Trinkwasser	13
2.2.1	Werkstoffe für die Trinkwasser-Installation	13
2.2.1.1	Kupfer	13
2.2.1.2	Schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe (Überzüge nach DIN EN 10240, DIN EN 10242	16
2.2.1.3	Nichtrostender Stahl (DVGW W 534, DVGW W 541, DIN EN 12502-4)	18
2.2.1.4	Unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe (DIN EN 12502-5)	18
2.2.1.5	Blei	18
2.2.1.6	Werkstoffe für Armaturen und Rohrverbindungen	18
2.2.1.7	Kunststoffe und Verbundwerkstoffe	19
2.2.2	Werkstoffe für die öffentliche Wasserversorgung	20
2.2.2.1	Unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe, Gusseisen	22
2.2.2.2	Zementmörtelauskleidungen	22
2.2.2.3	Korrosionsschutz von Guss- und Stahlrohren durch organische Beschichtungen	24
2.2.2.4	Kunststoffe	25
3	**Wechselwirkung des Trinkwassers mit im Verteilungsnetz und in der Trinkwasser-Installation der Verbraucher eingesetzten Werkstoffen – vor und nach Änderung der Versorgungssituation**	**26**
3.1	Verteilungsnetz	28
3.1.1	Un- und niedriglegierte Eisenwerkstoffe, Gusseisen	28
3.1.2	Zementgebundene Werkstoffe	29
3.2	Werkstoffe für die Trinkwasser-Installation	30
3.2.1	Kupfer und Kupferwerkstoffe	30
3.2.2	Armaturen und Installationskomponenten aus Kupferwerkstoffen (Messing, Rotguss)	33
3.2.3	Schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe	33
3.2.4	Nichtrostende Stähle	35
4	**Literatur**	**37**

1 Einleitung und Ziel des Projektes

Der Stadtbetrieb Bornheim betreibt im Auftrag der Stadt Bornheim, die Eigentümerin der Wasserversorgungsanlagen ist, die Wasserversorgung im Stadtgebiet Bornheim. Die Wasserversorgung wird durch den Bezug von Trinkwasser von zwei Vorlieferanten, dem Wahnbachtalsperrenverband (WTV) und dem Wasserversorgungsverband Wesseling-Hersel (WBV) gewährleistet. Bei dem Wasser des WTV handelt es sich um eine Mischung aus Talsperrenwasser und Grundwasser, das Trinkwasser des WBV ist rheinnahes Grundwasser.

Die beiden Wässer werden im Wasserwerk Eichenkamp zentral gemischt und in die verschiedenen Versorgungszonen eingespeist. Das Wasser wird dabei über 2 Werksausgänge mittels Pumpstation in das Versorgungsnetz gefördert. Die Bornheimer Wasserversorgung gliedert sich in drei Regionen, in die Hoch- und Tiefzone sowie die Orte am Rhein.

Das Mischungsverhältnis der beiden Wässer beträgt 75 % WBV und 25 % WTV. Bis 2013 wurde das Mischwasser zur Einstellung der Calcitsättigung restentsäuert.

Die Stadt Bornheim beabsichtigt, zukünftig Trinkwasser ausschließlich vom WTV zu beziehen und auf die Zumischung des härteren Wassers des WBV zu verzichten.

Voraussetzung für die Einhaltung einer einwandfreien Trinkwasserqualität bei der Verteilung und Verwendung ist der Einsatz geeigneter Werkstoffe für Rohrleitungen, Armaturen und Bauteile sowohl im Verteilungsnetz des Wasserversorgungsunternehmens als auch in der Trinkwasser-Installation der Verbraucher. Bei Änderung der wasserseitigen Korrosionsbedingungen - im vorliegenden Fall durch die Änderung der Bezugsbedingungen und die ausschließliche Verteilung des weicheren Wassers des WTV - sind daher auch die geänderten wasserseitigen Korrosionsbedingungen im Hinblick auf die Wechselwirkung der bereits verlegten Werkstoffe mit der geänderten Wasserbeschaffenheit zu bewerten, um negative Folgen auf die Trinkwasserqualität und/oder Korrosionsschäden am Werkstoff/Bauteil zu vermeiden.

1.1 Auftrag und Projektdurchführung

Der StadtBetrieb Bornheim hat die IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser - Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH mit Bewertung der korrosionschemischen Auswirkungen der Änderung der Versorgungsbedingungen durch ausschließlichen Bezug des weicheren Trinkwassers des WTV beauftragt. Der Bericht hat folgende Inhalte:

- Zusammenstellung, Kontrolle und Bewertung von Wasserbeschaffenheitsdaten unter korrosionschemischen Gesichtspunkten
- Bewertung der korrosionschemischen Eigenschaften dieser Wässer im Kontakt mit Rohrwerkstoffen. Dabei werden
  - Rohrwerkstoffe der öffentlichen Wasserversorgung (ungeschützte Guss- und Stahlleitungen, AZ-Leitungen, Leitungen mit Zementmörtelauskleidung, Kunststoffleitungen etc.) und
  - Rohrwerkstoffe der Verbraucher in der Trinkwasser-Installation (Kupfer, Kupferwerkstoffe, verzinkter Stahl, nichtrostender Stahl, Kunststoff) auf der Grundlage der einschlägigen DIN-Normen, DVGW Merk- und -Arbeitsblätter in der jeweils gültigen Fassung und die Gesetzgebung zur Trinkwasserbeschaffenheit berücksichtigt. Ebenfalls erfolgt eine Bewertung der Wässer nach DIN 50930 Teil 6.

Zum besseren Verständnis der werkstoffspezifischen korrosionschemischen Bewertung werden dem Bericht zunächst allgemeine Ausführungen zu den Wechselwirkungen von Werkstoffen und Trinkwasser vor dem Hintergrund der Trinkwasserverordnung 2001 und der Neufassung der Trinkwasserverordnung 2001 in der Fassung 2013 vorangestellt.

2 Allgemeine Ausführungen zu den Wechselwirkungen von Werkstoffen und Trinkwasser

2.1 Trinkwasserverordnung 2001 und Werkstoffe in der Trinkwasser-Verteilung und Trinkwasser-Installation – aktueller Sachstand

Werkstoffe, die für die Verteilung und Bereitstellung von Trinkwasser eingesetzt werden, sollen keine Substanzen in einer Menge abgeben, die die Qualität des Wassers, das für den menschlichen Gebrauch verwendet wird, negativ beeinflussen. Bei der Auswahl der Materialien muss auf europäische und nationale Regelungen geachtet werden, die entsprechende Qualitätsstandards für das Trinkwasser festlegen. Durch die Novellierung der Trinkwasserverordnung im Jahr 2001 [TrinkwV 2001], die die Umsetzung der Europäischen Trinkwasserrichtlinie in deutsches Recht darstellt [EU-Trinkwasserrichtlinie, 1998], haben sich auch die Rahmenbedingungen für den Einsatz metallener Werkstoffe in der Trinkwasser-Installation geändert.

Die Festlegung neuer Grenzwerte für eine Reihe von Wasserinhaltsstoffen und Stoffklassen, zu denen auch die Metalle Blei, Kupfer und Nickel zählen, deren Auftreten im Trinkwasser eine Folge der Wechselwirkungen zwischen dem verwendeten Installationswerkstoff und dem Trinkwasser ist, machte auch eine Änderung der Anwendungsbereiche für diese Werkstoffe notwendig. Alle Anforderungen der Trinkwasserverordnung sind nämlich an den Entnahmestellen der Trinkwasser-Installation einzuhalten, an denen Trinkwasser entnommen wird, d.h., die Einhaltung der Trinkwasserqualität in der Trinkwasser-Installation wird somit in den Geltungsbereich der Trinkwasserverordnung ausdrücklich einbezogen. Damit kommt der sachgemäßen, auf das gegebene Trinkwasser abgestimmten Werkstoffauswahl ein hoher Stellenwert zu.

Die Grenzwerte für die Parameter Blei, Kupfer und Nickel sind als Wochenmittelwerte definiert (repräsentative Probe einer durchschnittlichen wöchentlichen Wasseraufnahme durch Verbraucher) und an ein entsprechendes Probenahmeverfahren gekoppelt, das seit 2004 für Deutschland festgelegt ist [UBA, 2004]. Dieses Verfahren bildet die Bewertungsgrundlage für die Frage, ob der Grenzwert am Zapfhahn eingehalten oder überschritten wird. In Einzelproben bestimmte Konzentrationen sind für die Beurteilung des Wochenmittelwertes und zum Schutz des einzelnen Verbrauchers ungeeignet, da sie in Abhängigkeit von wasser-, installations- und betriebsseitigen Einflussgrößen und besonders durch die unterschiedliche

Kontaktzeit des Wassers mit dem Installationsmaterial stark schwanken und sich selbst am gleichen Zapfhahn im Laufe eines Tages um Größenordnungen unterscheiden können.

Die Trinkwasser-Installation ist im Sinne der Trinkwasserverordnung eine Wasserversorgungsanlage, aus der Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) abgegeben wird. Sie besteht gemäß § 3 TrinkwV aus der Gesamtheit der Rohrleitungen, Armaturen und Geräte, die sich zwischen dem Punkt der Entnahme und dem Punkt der Übergabe des Wassers befinden, somit zwischen Wasserzähler bzw. Hauptabsperrvorrichtung und den Zapfstellen [TrinkwV 2001]. § 8 der Trinkwasserverordnung stellt heraus, dass die Anforderungen an die Beschaffenheit des Trinkwassers am Austritt aus den Zapfstellen eingehalten sein müssen, an denen Trinkwasser entnommen wird. Eine besondere Bedeutung haben aus diesem Grund die Grenzwerte für diejenigen chemischen Parameter, deren Konzentrationen im Verteilungsnetz einschließlich der Trinkwasser-Installationen ansteigen können (Anlage 2 zu § 6 Abs. 2). Tabelle 1 gibt die Inhalte von Anlage 2 Teil II der Trinkwasserverordnung wieder; außerdem wurde von IWW in der letzten Spalte die potentielle Herkunft dieser Stoffe im Trinkwasser genannt.

Daneben sind in der Anlage 3 Grenzwerte für Indikatorparameter zusammengestellt, die aus der Sicht der Korrosion von Werkstoffen ebenfalls von Bedeutung sind. Tabelle 2 zeigt eine für den vorliegenden Zusammenhang relevante Stoffauswahl aus der Anlage 3 mit Be- und Anmerkungen.

Tabelle 1: Grenzwerte für chemische Parameter, deren Konzentration im Verteilungsnetz einschließlich der Trinkwasser-Installation ansteigen kann

Lfd. Nr.	Parameter	Grenzwert mg/l	Bemerkungen	Herkunft
1	Antimon	0,0050		Zinküberzug
2	Arsen	0,010		Zinküberzug, Legierungen (Armaturen)
3	Benzo-(a)pyren	0,000010		tauchgeteerte Guss- und Stahlrohre
4	Blei	0,010	Grundlage ist eine für die durchschnittliche wöchentliche Trinkwasseraufnahme durch Verbraucher repräsentative Probe. Die zuständigen Behörden stellen sicher, dass alle geeigneten Maßnahmen getroffen werden, um die Bleikonzentration im Trinkwasser so weit wie möglich zu reduzieren. Maßnahmen zur Erreichung dieses Grenzwertes sind schrittweise und vorrangig dort durchzuführen, wo die Bleikonzentration im Trinkwasser am höchsten ist.	Bleirohre und Legierungen (z.B. Zinküberzug, Armaturen)
5	Cadmium	0,0030	Einschließlich der bei Stagnation von Wasser in Rohren aufgenommenen Cadmiumverbindungen.	z.B. Zinküberzug
6	Epichlorhydrin	0,0001	Der Grenzwert bezieht sich auf die Restmonomerkonzentration im Trinkwasser, berechnet auf Grund der maximalen Freisetzung nach den Spezifikationen des entsprechenden Polymers und der angewandten Polymerdosis. Der Nachweis der Einhaltung des Grenzwertes kann auch durch Analyse des Trinkwassers erbracht werden.	Anstriche (z.B. von Trinkwasserbehältern)
7	Kupfer	2,0	Grundlage ist eine für die durchschnittliche wöchentliche Wasseraufnahme durch Verbraucher repräsentative Probe. Auf eine Untersuchung im Rahmen der Überwachung nach §19 Absatz 7 kann in der Regel verzichtet werden, wenn der pH-Wert im Wasserversorgungsgebiet größer oder gleich 7,8 ist.	Kupfer und Kupferwerkstoffe
8	Nickel	0,020	Grundlage ist eine für die durchschnittliche wöchentliche Wasseraufnahme durch Verbraucher repräsentative Probe.	Legierungen (Armaturen), Nickelüberzüge, Nickelbasislote
9	Nitrit	0,50	Die Summe der Beträge aus Nitratkonzentration in mg/l geteilt durch 50 und Nitritkonzentration in mg/l geteilt durch 3 darf nicht höher als 1 sein. Am Ausgang des Wasserwerkes darf der Wert von 0,10 mg/l für Nitrit nicht überschritten werden	Reduktion von Nitrat (NO_3^-) zu Nitrit (NO_2^-) (Sekundärreaktion mit Zinküberzug)
10	PAK	0,00010	Summe der nachgewiesenen und mengenmäßig bestimmten nachfolgenden Stoffe: Benzo-(b)-fluoranthen, Benzo-(k)-fluoranthen, Benzo-(ghi)-perylen und Indeno-(1,2,3-cd)-pyren Anmerkung1)	Tauchgeteerte Guss- und Stahlrohre
12	Vinylchlorid	0,00050	Der Grenzwert bezieht sich auf die Restmonomerkonzentration im Trinkwasser, berechnet auf Grund der maximalen Freisetzung nach den Spezifikationen des entsprechenden Polymers und der angewandten Polymerdosis. Der Nachweis der Einhaltung des Grenzwertes kann auch durch Analyse des Trinkwassers erbracht werden.	Rohre aus PVC

Anmerkung 1: Voraussetzung für die Summenbildung ist mindestens das jeweilige Erreichen der bestimmungsgrenze des analytischen Verfahrens

Tabelle 2: Korrosionsrelevante Indikatorparameter

Lfd. Nr.	Parameter	Einheit	Grenzwert/ Anforderung	Bemerkungen	Anmerkungen
3	Chlorid	mg/l	250	Das Wasser sollte nicht korrosiv wirken (Anmerkung 1)	Die Chloridionenkonzentration ist insbesondere im Zusammenhang mit innen nicht geschützten Guss- und Stahlrohren relevant.
5	Eisen	mg/l	0,200		Eisen kann aus innen ungeschützten Guss- und Stahlrohren sowie aus ehemals verzinkten Eisenrohren an das Trinkwasser abgegeben werden.
11	Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	2790 bei 25℃	Das Wasser sollte nicht korrosi v wirken (Anmerkung 1)	
16	Sulfat	mg/l	250	Das Wasser sollte nicht korrosiv wirken (Anmerkung 1)	Die Sulfatkonzentration ist insbesondere im Zusammenhang mit innen nicht geschützten Guss- und Stahlrohren relevant.
18	Wasserstoff-Ionen-Konzentration	pH-Einheiten	≥ 6,5 und ≤ 9,5	Das Wasser sollte nicht korrosiv wirken (Anmerkung 1) Für Trinkwasser, das zur Auffüllung in verschließbare Behältnisse vorgesehen ist, kann der Mindestwert auf 4,5 pH-Einheiten herabgesetzt werden. Ist dieses Trinkwasser von Natur aus kohlensäurehaltig, kann der Mindestwert niedriger sein.	
20	Calcitlösekapazität	mg/l $CaCO_3$	5	Die Anforderung gilt für Wasserversorgungsanlagen nach § 3 Nr. 2 Buchstabe a und b. Die Anforderung gilt als erfüllt, wenn der pH-Wert am Wasserwerksausgang > 7,7 ist. Hinter der Stelle der Mischung von Trinkwasser aus zwei oder mehr Wasserwerken darf die Calcitlösekapazität im Verteilungsnetz den Wert von 10 mg/l nicht überschreiten. Für Wasserversorgungsanlagen nach § 3 Nr.2 Buchstabe c wird empfohlen, sich nach dieser Anforderung zu richten, wenn nicht andere Maßnahmen zur Berücksichtigung der Aggressivität des Trinkwassers gegenüber Werkstoffen getroffen werden. Es ist das Berechnungsverfahren 3 nach DIN 38404-10 anzuwenden.	

Anmerkung 1: Die entsprechende Beurteilung, insbesondere zur Auswahl geeigneter Materialien im Sinne von § 17 Abs. 1, erfolgt nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik

.

Die Grundsätze für Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Trinkwasser-Installationen sind in DIN 1988 [DIN 1988, Teile 100 - 600] und DIN EN 806 [DIN EN 806, Teile 1 - 5] festgelegt. Die Wechselwirkungen zwischen metallenen Werkstoffen und Trinkwasser werden derzeit in der Informationsnorm DIN EN 12502 anhand von Wahrscheinlichkeitsaussagen über Korrosionsarten und Korrosionserscheinungen beschrieben [DIN EN 12502, 2005]. Im Gegensatz zum alten Normenpaket der DIN 50930 [DIN 50930, 1993] enthält die DIN EN 12502 keine Hinweise auf eine durch die Wechselwirkung zwischen dem Werkstoff und Trinkwasser hervorgerufene Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit, da die EU-Mitgliedstaaten hygienische Anforderungen national regeln [DIN EN 12502, 2005].

Mit DIN 50930-6, die im August 2001 erschienen ist, wurde parallel zur Veröffentlichung der Trinkwasserverordnung eine nationale Regelung geschaffen, die wasserseitige Anwendungsbereiche für die verschiedenen Installationswerkstoffe enthielt, wobei nach Werkstoffen für Rohrleitungen, Armaturen, Rohrverbindern und anderen Bauteilen unterschieden wurde [DIN 50930-6, 2001]. Bei der Bewertung der Abgabe von Korrosionsprodukten an das Trinkwasser durch Armaturen, Rohrverbinder und anderen Bauteilen wurden deren Häufigkeit und deren wasserberührte Innenoberfläche ebenfalls berücksichtigt. Die in DIN 50930-6 aufgeführten Werkstoffzusammensetzungen (Legierungsbestandteile) und wasserseitigen Einsatzgrenzen wurden auf der Basis von Untersuchungen in standardisierten Testständ [DIN 50931-1, DIN EN 15664] und praktischen Erfahrungen festgelegt. DIN 50931-1 enthält ein verbrauchsabhängiges Prüfverfahren, das in Deutschland seit 2001 zur Prüfung der Einsetzbarkeit metallener Werkstoffe bei Kontakt mit Trinkwasser verwendet werden musste, um nachzuweisen, dass die vom Werkstoff abgegebenen Schwermetalle (und Sekundärreaktionen mit Wasserinhaltsstoffen) die Trinkwasserbeschaffenheit nicht nachteilig verändern [DIN 50931-1, 1999; Becker, 2001]. Diese nationale Norm wurde mittlerweile zurückgezogen und in eine internationale Norm, DIN EN 15664 überführt [DIN EN 15664, 2008].

Gewährleistet werden soll die Trinkwasserqualität in der Trinkwasser-Installation insbesondere durch die Festlegungen in § 17 TrinkwV 2001, dass bei der Planung, dem Bau und Betrieb von Trinkwasser-Anlagen mindestens die allgemein anerkannten Regeln der Technik einzuhalten sind. Dies kann für die dabei betroffenen Verfahren und Produkte insbesondere sichergestellt werden, indem durch einen akkreditierten Branchenzertifizierer zertifizierte Verfahren und Produkte eingesetzt werden (Abbildung 1).

Anforderungen an

Anlagen für die Gewinnung,

Aufbereitung oder Verteilung von Trinkwasser

(1) Anlagen für die Gewinnung, Aufbereitung oder Verteilung von Trinkwasser sind mindestens nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu planen, zu bauen und zu betreiben.

(2) Werkstoffe und Materialien, die für die Neuerrichtung oder Instandhaltung von Anlagen für die Gewinnung, Aufbereitung oder Verteilung von Trinkwasser verwendet werden und Kontakt mit Trinkwasser haben, dürfen nicht

1. den nach dieser Verordnung vorgesehenen Schutz der menschlichen Gesundheit unmittelbar oder mittelbar mindern,

2. den Geruch oder den Geschmack des Wassers nachteilig verändern oder

3. Stoffe in Mengen ins Trinkwasser abgeben, die größer sind als dies bei Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik unvermeidbar ist.

Der Unternehmer und der sonstige Inhaber von Anlagen für die Gewinnung, Aufbereitung oder Verteilung von Trinkwasser haben sicherzustellen, dass bei der Neuerrichtung oder Instandhaltung nur Werkstoffe und Materialien verwendet werden, die den in Satz 1 genannten Anforderungen entsprechen.

…

(5) Es wird vermutet, dass Produkte und Verfahren die Anforderungen nach den Absätzen 1 bis 3 erfüllen, wenn dies von einem für den Trinkwasserbereich akkreditierten Zertifizierer durch ein Zertifikat bestätigt wurde.

…

Abbildung 1: § 17 Trinkwasserverordnung – Werkstoffauswahl für neue Installationen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik

Europäische Harmonisierung und UBA-Werkstoffliste

Ziel der europäischen Union ist es, durch Liberalisierung des europäischen Binnenmarktes Handelshemmnisse zu beseitigen und einen freien Warenverkehr zu gewährleisten. Europäische Richtlinien sollen nationale Zulassungsbestimmungen für Produkte ersetzen, die CE-Kennzeichnung zeigt die Konformität. Einschränkungen des freien Handels sind laut Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (Artikel 36) zulässig, wenn der Schutz von Umwelt, Gesundheit oder Sicherheit dies erfordert. Während bereits eine weitgehende Harmonisierung im Bereich der technischen Anforderungen erreicht wurde – z.B. für die Trinkwasser-Installation das Normenpaket DIN EN 806 – ist dies für die Frage der hygienischen Eignung von Werkstoffen und Materialien in Kontakt mit Trinkwasser erst im Entstehen.

Das ursprünglich seit 1999 von der EU-Kommission vorgesehene Europäische Anerkennungssystem für Bauprodukte in Kontakt mit Trinkwasser (EAS) wird in der Form nicht mehr weiter verfolgt, wobei die Entwicklung auf der regulatorischen Ebene scheiterte: Die Festset-

zung von Grenzwerten und die Anerkennung trinkwassergeeigneter Werkstoffe ist eine „politische Aufgabe“, die national geregelt wird. Die hierfür notwendigen Prüfverfahren und technischen Regeln sind aber hiervon ausgenommen, da es sich um technische Anforderungen handelt, die von entsprechenden Fachgremien bearbeitet werden können.

Parallel zur Diskussionen um das EAS wurden europäisch harmonisierte Prüfverfahren entwickelt, die eine Prüfung der Trinkwassereignung von Werkstoffen und Bauteilen ermöglichen. Zwischenzeitlich erfolgte ein freiwilliger Zusammenschluss der vier Mitgliedstaaten Frankreich, Niederlande, Großbritannien und Deutschland (4-MS bzw. JMC), seit Januar 2013 auch Portugal, zur Harmonisierung der nationalen Anforderungen und zur Anerkennung von Produkten für den Kontakt mit Trinkwasser, die aus den jeweils anderen Mitgliedstaaten kommen.

Das 4MS/JMC-Beurteilungsverfahren für metallene Werkstoffe sieht eine gemeinsame Listung von hygienisch geeigneten metallenen Werkstoffen vor. In Deutschland wird diese Liste von UBA geführt, ein Entwurf der Liste und eine Geschäftsordnung, die ein entsprechendes Antragsverfahren zur Aufnahme von metallenen Werkstoffen auf diese Liste enthält, ist auf der Homepage des UBA eingestellt. Die Koordination zur Führung der 4-MS/JMC-Werkstoffliste erfolgt ebenfalls durch das UBA.

Die Liste der metallenen Werkstoffe für die eine Trinkwassereignung besteht, liegt zur Notifizierung bei der Europäischen Kommission und wird 2 Jahre nach offiziellem Erscheinen rechtsgültig.

Aktuelle Anforderungen an metallene Werkstoffe – DIN 50930-6

Grundlegende Vorgaben zur Beurteilung der korrosionsbedingten Veränderung des Trinkwassers im Hinblick auf seiner Eigenschaft als Lebensmittel enthält DIN 50930-6. Die Norm beschreibt den Einfluss wasser- und werkstoffseitiger Parameter sowie der Betriebsbedingungen auf die Veränderung der Wasserbeschaffenheit bei Kontakt des Trinkwassers mit metallenen Werkstoffen und enthält Kriterien, die die Einsatzbereiche von metallenen Werkstoffen in Wässern kennzeichnen.

Im Zuge der Überarbeitung der DIN 50930-6-2013-10 wurde diese inhaltlich an die neuen Entwicklungen angepasst. Neben den wasserseitigen Anwendungsbereichen ist nunmehr ein Verfahren enthalten, dass die Ergebnisse der Prüfungen nach DIN EN 15664, Teile 1 und 2 bewertet. Bewertungskriterien wurden aufgestellt für die Prüfung des Werkstoffes in einem örtlichen Trinkwasser, die Prüfung des Werkstoffes zur allgemeinen Verwendung (in allen Wässern) und Vergleichsuntersuchungen mit einem Referenzwerkstoff. Als wasserseitige Bewertungskriterien werden die Grenzwerte der TrinkwV bzw. Leitwerte des UBA (bzw.

der WHO) herangezogen, allerdings dürfen die Grenz- bzw. Leitwerte nicht in voller Höhe ausgeschöpft werden, da das Trinkwasser an der Übergabestelle zur Trinkwasser-Installation einen gewissen Anteil an grenzwertrelevanten Metall-Ionen enthalten kann (z.B. Eisen, Blei, Nickel etc.).

Zur Auswahl der geeigneten Werkstoffe gehört eine detaillierte Kenntnis der Wasserbeschaffenheit in dem entsprechenden Versorgungsbereich. Zur Beurteilung des korrosionschemischen Verhaltens der Werkstoffe sind aktuelle Wasseranalysen erforderlich, die vom Wasserversorger zur Verfügung gestellt werden müssen. Der Umfang der jeweiligen Analyse inklusive des Analysenverfahrens ist in DIN 50930-6 genau festgelegt, wobei die Qualität der Analyse durch entsprechende Plausibilitätsprüfungen (Ladungsbilanz) nachgewiesen werden muss (Tabelle 3).

Die Angabe von Mittelwerten der Wasserparameter ist nur dann sinnvoll, wenn die Wasserbeschaffenheit innerhalb eines geringen Schwankungsbereiches liegt.

Bei größeren Schwankungen der einzelnen Analysenwerte ist vom Wasserversorger anzugeben, ob es sich um Wässer unterschiedlicher Beschaffenheit nach DVGW W 216 handelt. Für eine Beurteilung einer zeitlich unterschiedlichen Wasserzusammensetzung sind Zeitreihen aussagefähiger als Maximal- und Minimalwerte der einzelnen Analysenwerte. Bei Vorliegen von Wässern unterschiedlicher Beschaffenheit nach DVGW W 216 ist bei der Beurteilung von der ungünstigsten Wasserbeschaffenheit auszugehen.

Der Wasserversorger sollte außerdem darüber informieren, ob und zu welchen voraussichtlichen Zeitpunkten ein Wasser anderer Beschaffenheit in das Versorgungsnetz eingespeist wird. Bei häufigerem Wechsel der Wasserbeschaffenheit ist die Häufigkeit der Änderung der Einspeisung anzugeben und eine Bewertung nach W 216 durchzuführen. In letzterem Fall ist zu prüfen, ob darin ein Wasser verteilt wird, das nach DVGW W 216 im Vergleich zum ursprünglich abgegebenen Wasser von unterschiedlicher Beschaffenheit ist.

Tabelle 3: Angaben zur Wasseranalyse nach DIN 50930-6

Parameter	Einheit	Verfahren nach
Wassertemperatur[a]	°C	DIN 38404-4
pH-Wert[a]		DIN 38404-5
Calcitlösekapazität	mg/l $CaCO_3$	DIN 38404-10
Spezifische Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	DIN EN 27888
Säurekapazität bis pH = 4,3 ($K_{S4,3}$)	mol/m^3	DIN 28409-7
Basekapazität bis pH = 8,2 ($K_{B8,2}$)	mol/m^3	DIN 28409-7
Summe Erdalkalien	mol/m^3	DIN 28409-6
Calcium-Ionen	mol/m^3	DIN 38406-3
Magnesium-Ionen	mol/m^3	DIN 38406-3 DIN EN ISO 11885
Natrium-Ionen	mol/m^3	DIN 38406-14
Kalium-Ionen	mol/m^3	DIN 38406-13
Chlorid-Ionen	mol/m^3	DIN 38405-1
Nitrat-Ionen	mol/m^3	DIN 38405-9
Sulfat-Ionen	mol/m^3	DIN 38405-5
Phosphorverbindungen[b, c]	g/m^3	DIN EN ISO 6878 DIN EN ISO 11885
Siliciumverbindungen[b, d]	g/m^3	DIN 38405-21 DIN EN ISO 11885
Organischer Kohlenstoff (TOC)	g/m^3	DIN EN 1484
Sauerstoff[a]	g/m^3	DIN EN 25813 DIN EN ISO 5814

[a] Messung muss am Ort der Probenahme erfolgen

[b] Bei zentraler Dosierung von Phosphor- und Siliciumverbindungen ist eine differenzierte Angabe der Verbindungen notwendig

[c] Angabe als P

[d] Angabe als Si

Nach § 21 TrinkwV (Information der Verbraucher und Berichtspflicht) muss das Wasserversorgungsunternehmen Informationen zur Verfügung stellen, die eine auf das jeweilige Trinkwasser abgestimmte Werkstoffwahl ermöglichen; Abs. 1 regelt deren Umfang (Abbildung 2).

§ 21 TrinkwV

Information der Verbraucher und Berichtspflichten

(1) Der Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage im Sinne von § 3 Nummer 2 Buchstabe a oder Buchstabe b und, sofern die Anlage im Rahmen einer gewerblichen oder öffentlichen Tätigkeit betrieben wird, nach Buchstabe d oder Buchstabe e haben den Verbrauchern mindestens jährlich durch geeignetes und aktuelles Informationsmaterial über die Qualität des bereitgestellten Trinkwassers auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse nach § 14 und ggf. nach §19 Absatz 7 und § 20 zu übermitteln. Dazu gehören auch Angaben über die Aufbereitungsstoffe, die bei der Aufbereitung und Verteilung verwendet werden, sowie Angaben, die für die Auswahl geeigneter Materialien für die Trinkwasser-Installation nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erforderlich sind. Ab dem 1. Dezember 2013 haben der Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage nach § 3 Nummer 2 Buchstabe a oder b, oder sofern die Anlage im Rahmen einer gewerblichen oder öffentlichen Tätigkeit betrieben wird, nach Buchstabe e die betroffenen Verbraucher zu informieren, wenn Leitungen aus dem Werkstoff Blei in der von ihnen betriebenen Anlage vorhanden sind, sobald sie hiervon Kenntnis erlangen. Der Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage nach § 3 Nummer 2 Buchstabe f und, sofern die Anlage im Rahmen einer gewerblichen oder öffentlichen Tätigkeit betrieben wird, nach Buchstabe d und e, haben die ihnen nach Satz 1 zugegangenen Informationen unverzüglich allen betroffenen Verbrauchern schriftlich oder durch Aushang bekannt zu machen.

…

Abbildung 2: Information der Verbraucher und Berichtspflichten

2.2 Korrosionsverhalten metallener Installationswerkstoffe bei Kontakt mit Trinkwasser

Im Folgenden werden die derzeitigen Anwendungsbereiche für metallene Werkstoffe kurz dargestellt. Grundlage bildet DIN 50930-6, die sich schwerpunktmäßig mit der Frage der Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit durch die Werkstoffe befasst. Da aber bei den Wechselwirkungen mit dem Trinkwasser auch das Korrosionsverhalten des Werkstoffes beeinflusst wird, werden – wenn notwendig – auch die wasserseitigen Leitparameter der DIN EN 12502 Teile 1 bis 5 berücksichtigt, da sie den derzeitigen Stand des Wissens zum Korrosionsverhalten der in der Trinkwasser-Installation eingesetzten Werkstoffe darstellen.

2.2.1 Werkstoffe für die Trinkwasser-Installation

2.2.1.1 Kupfer

Unter der Voraussetzung, dass die entsprechenden Normen und Regelwerke eingehalten werden [DIN EN 12502, 2005; DIN EN 1057, 1996; DIN EN 1254, 1998; DVGW GW 392, 2002; DVGW GW 8, 1996; DVGW GW 2, 2002], ist **Kupfer** in allen Wässern einsetzbar, deren pH-Wert größer als 7,4 ist. Bei Wässern mit pH-Werten > 7,8 kann eine Überprüfung der Kupferkonzentration im Trinkwasser entfallen (TrinkwV 2001, 2013).

Neben dem pH-Wert hat die Konzentration an gelösten organischen Verbindungen (TOC) einen deutlichen Einfluss auf das Korrosionsverhalten von Kupfer. Auf Basis von Feld-Untersuchungen lassen sich die bei verschiedenen Wässern abhängig vom pH-Wert gemessenen Kupferkonzentrationen nach dem TOC-Gehalt gruppieren. Die Wässer, deren pH-Wert über 7,4 liegt, bildet eine Gruppe, bei der der TOC ohne Bedeutung ist; im pH-Bereich zwischen 7,0 und 7,4 scheint der TOC die Kupferlöslichkeit zu beeinflussen. Die Daten zeigen weiter, dass der Kupfer-Grenzwert ebenfalls eingehalten wird, wenn der TOC kleiner als 1,5 mg/l ist.

Damit ergeben sich für Kupfer folgende (erweiterte) Anwendungsbereiche:

- pH ≥ 7 oder
- 7,0 ≤ pH < 7,4 **und** TOC ≤ 1,5 mg/l [DIN 50930-6, 2013].

Bei **innenverzinntem Kupfer** gibt es keine Einschränkung des Anwendungsbereiches, wenn die Verzinnung den Anforderungen des DVGW entspricht [DVGW VP 617 bzw.

DVGW W 534] und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung an den pH-Wert des Wassers erfüllt sind (6,5 ≤ pH ≤ 9,5).

Zusätzlich zu den wasserseitigen Einsatzgrenzen ist das Korrosionsverhalten des Kupfer-Werkstoffes bei Kontakt mit Wasser zu berücksichtigen, das in DIN EN 12502-2 beschrieben wird. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um das Auftreten von *Lochkorrosion*, wobei im Kalt- und Warmwasserbereich unterschiedliche Einflussfaktoren bestimmend sind. Nur die Faktoren bei Lochkorrosion im *Warmwasserbereich* (Typ 2) lassen sich derzeit zahlenmäßig beschreiben (Tabelle 4). Diese Korrosionsart war bisher erfahrungsgemäß auf weiche, saure Wässer mit niedrigen pH-Werten begrenzt.

Tabelle 4: Einflussfaktoren für Lochkorrosion an Kupfer im Warmwasserbereich nach DIN EN 12502-2

Parameter	Anforderung
pH	< 7,0
HCO_3^-	< 1,5 mmol/l
T	> 60 °C
$S = \frac{c(HCO_3^-)}{c(SO_4^{2-})}$	< 1,5

Seit ca. 2 Jahren treten aber Schäden in Warmwasserinstallationen aus Kupfer auch bei Wässern auf, deren Hydrogencarbonatkonzentration über 2 mmol/l und der Quotient S deutlich über 1,5 liegt. Von Schäden sind zurzeit überwiegend Zirkulationsleitungen betroffen [Becker, 2006].

Lochkorrosion im Kaltwasserbereich (Typ 1) tritt bevorzugt bei Grundwässern im pH-Bereich von 7,0 bis 8,2 auf. Hydrogencarbonat und Chlorid vermindern, Sulfat und in gewissem Umfang Nitrat erhöhen die Korrosionswahrscheinlichkeit. Ausschlaggebend ist dabei nicht die Absolut-Konzentration der genannten Wasserparameter, sondern das Verhältnis der Anionen Chlorid und Sulfat. Besonders kritisch sind Bedingungen zu sehen, bei denen der Einfluss des Sulfats dominiert und die Hydrogencarbonatkonzentration zu gering ist, um die Absenkung des pH-Wertes am Boden der Lochfraßzelle abzupuffern (Tabelle 5).

Tabelle 5: Abschätzung der Lochkorrosionswahrscheinlichkeit an Kupfer im Kaltwasserbereich nach DIN EN 12502-2

Parameter	Wirkung
harte bis mittelharte Wässer	lochkorrosionsbegünstigend
Grundwasser	lochkorrosionsbegünstigend
Hydrogencarbonat	lochkorrosionshemmend
Chlorid	lochkorrosionshemmend
Sulfat	lochkorrosionsbegünstigend
Sulfatkonzentration groß gegen Chloridkonzentration	lochkorrosionsbegünstigend
Nitrat	lochkorrosionsbegünstigend

Bei Kupferinstallationen, die permanent über 30 °C betrieben werden, tritt diese Korrosionsart nicht auf. Bei den wasserseitigen Abhilfemaßnahmen werden dezentral der Anionenaustausch (Sulfat und Nitrat gegen Chlorid) und die selektive Membranfiltration genannt [DIN EN 12502, 2005].

Werkstoffseitig kann die Korrosionswahrscheinlichkeit vermindert werden, wenn im Abmessungsbereich der Rohre $\leq$ 28 x 1,5 mm auf das Hartlöten bzw. eine entsprechende Wärmebehandlung verzichtet wird [DVGW GW 2, 2002; DIN EN 12502-2, 2005]. Die bei dieser Wärmebehandlung eingesetzten Temperaturen von > 400 °C bewirken auf der Innenoberfläche der Rohre das Aufwachsen einer kompakten Kupfer(II)-oxidschicht, die je nach Morphologie Ausgangspunkt für mögliche lokale Angriffsstellen sein kann [Becker u. a., 1996b; Becker u. a., 2003]. Bei den kritischen Betriebsbedingungen sind insbesondere geringe Fließintensitäten (lange Stagnationsdauer, geringe Fließgeschwindigkeiten) zu nennen, die zu einer Stabilisierung von lokalen Korrosionsvorgängen führen können.

Bei Hydrogencarbonatgehalten < 1 mmol/l wird bevorzugt basisches Kupfersulfat als Hauptbestandteil der Deckschicht ausgebildet. Dieses bildet locker anhaftende Schichten, die mit dem strömenden Wasser leicht abgetragen werden können, was zu erhöhten Kupferkonzentrationen führen kann (z.B. Blaufärbung des Wassers).

2.2.1.2 Schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe (Überzüge nach DIN EN 10240, DIN EN 10242

Der Korrosionsschutz durch Zinküberzüge auf unlegierten Eisenwerkstoffen beruht auf dem langsamen, gleichmäßigen Flächenabtrag des Zinküberzuges, in dessen Folge sich schützende Deckschichten aus Korrosionsprodukten bilden. Technisch unvermeidbar ist, dass Korrosionsprodukte an das Trinkwasser abgegeben werden. Dabei handelt es sich nicht nur um gelöste und ungelöste Zink-Verbindungen, sondern auch um Begleitstoffe und Verunreinigungen des Zinküberzuges. Während Einträge aus Antimon, Arsen, Cadmium und Wismut durch die Reinheit des verwendeten Zinks bestimmt werden, ist der Blei-Gehalt der Zinkschicht technologisch begründet. Der Einsatzbereich, der in DIN 50930-6 angegeben ist, basiert auf der angegebenen Zusammensetzung des Zinküberzuges (Abbildung 3). Dies bedeutet, dass zukünftig nur noch schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe eingesetzt werden dürfen, die ein entsprechendes DVGW-Prüfzeichen aufweisen.

Anwendungsbereich Eisenwerkstoffe, schmelztauchverzinkt	
Zusammensetzung des Zinküberzuges (Massenprozent)	
Antimon	0,01 %
Arsen	0,02 %
Blei	0,1 %
Cadmium	0,01 %
Wismut	0,01 %
Einsatzbereich	
$K_{B8,2} \leq 0{,}20$ mmol/l	
und der Neutralsalzquotient nach DIN EN 12502-3 folgende Bedingung erfüllt	
$S_1 < 1$	

Abbildung 3: Einsatzbereich schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe

Zusätzlich zu den wasserseitigen Einsatzgrenzen der DIN 50930-6 ist das Korrosionsverhalten schmelztauchverzinkter Eisenwerkstoffe bei Kontakt mit Wasser nach DIN EN 12502-3

zu beachten. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um wasserseitige Einflussfaktoren, die die Korrosionswahrscheinlichkeit für *ungleichmäßige Korrosion* beeinflussen (Tabelle 6).

Die Ausbildung *schützender Deckschichten* wird bevorzugt, wenn die Hydrogencarbonatkonzentration ($K_{S4,3}$) $\geq$ 2 mmol/l ist und die Calciumkonzentration über 0,5 mmol/l liegt. Die Wahrscheinlichkeit für *ungleichmäßige Flächenkorrosion* (örtlicher Abtrag der Verzinkung mit Freilegung der Stahloberfläche mit anschließender Ausbildung von Rostpusteln, Rostwasserprobleme, Querschnittsverengung) ist gering, wenn der Anionenquotient S_1 unter 0,5 liegt. Mit steigendem S_1-Wert nimmt die Korrosionswahrscheinlichkeit zu und ist bei Werten $S_1 > 3$ sehr hoch.

Tabelle 6: Einsatzbereiche für schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe nach DIN EN 12502-3

Parameter	Anforderung
Gleichmäßige Flächenkorrosion	
$c(HCO_3^-)$	$\geq$ 2,0 mmol/l
$C(Ca^{2+})$	> 0,5 mmol/l
Ungleichmäßige Flächenkorrosion	
$S_1 = \frac{c(Cl^-) + c(NO_3^-) + 2c(SO_4^{2-})}{c(HCO_3^-)}$	< 0,5
Die Wahrscheinlichkeit für ungleichmäßige Flächenkorrosion ist sehr groß bei $S_1 > 3$	

Selektive Korrosion wird durch die Anionen Chlorid und Sulfat gefördert und durch Nitrat vermindert; die Wahrscheinlichkeit für selektive Korrosion ist gering, wenn $S_2 < 1$ oder > 3 oder die Nitratkonzentration kleiner als 0,3 mmol/l ist (Tabelle 7).

Tabelle 7: Geringe Wahrscheinlichkeit für selektive Korrosion bei schmelztauchverzinkten Eisenwerkstoffen nach DIN EN 12502-3

Parameter	Anforderung
$S_2 = \frac{c(Cl^-) + 2c(SO_4^{2-})}{c(NO_3^-)}$	< 1 oder > 3
$c(NO_3^-)$	< 0,3 mmol/l

2.2.1.3 Nichtrostender Stahl (DVGW W 534, DVGW W 541, DIN EN 12502-4)

Im pH-Bereich zwischen 6,5 und 9,5 gibt es für nichtrostende Stähle nach DVGW W 534 bzw. W 541 keine Einschränkung des Anwendungsbereiches.

2.2.1.4 Unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe (DIN EN 12502-5)

Wegen der in der Sanitärinstallation allgemein vorliegenden ungünstigen Betriebsbedingungen mit häufigen Stagnationszeiten kann der in der Trinkwasserverordnung festgelegte Grenzwert von 0,2 mg/l Fe nicht eingehalten werden. Daher sind für die Trinkwasser-Installation ungeschützte un- und niedriglegierte Eisenwerkstoffe nicht einzusetzen.

2.2.1.5 Blei

Der Bleigrenzwert liegt seit dem 1. Dezember 2013 bei 0,010 mg/l Pb.

Der Grenzwert von 0,010 mg/l Pb (in der repräsentativen Probe) ist unter den Bedingungen der Trinkwasser-Installation praktisch nicht einzuhalten. Wegen der hohen toxischen Relevanz sollten Installationen aus Blei möglichst bald komplett ausgetauscht werden; eine Teilsanierung der Installation führt nicht zu einer gewünschten Verringerung der Bleikonzentration. Durch entsprechende wasserseitige Maßnahmen (Dosierung von Ortho-Phosphat) ist es u. U. möglich, die Bleikonzentration bis zur Sanierung entsprechend zu vermindern.

2.2.1.6 Werkstoffe für Armaturen und Rohrverbindungen

Die Legierungszusammensetzung von Messing (Kupfer-Zink-Legierungen) und Rotguss (Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen) sind so gewählt, dass der Einsatz in allen Trinkwässern möglich ist. Die für den Einsatz im Trinkwasser geeigneten Werkstoffe sind in der Liste

trinkwassergeeigneter metallener Werkstoffe des Umweltbundesamtes gelistet, die seit 01.Dezember 2012 auf der Homepage des Umweltbundesamtes veröffentlicht ist[1].

Nach erfolgter Notifizierung (voraussichtlich Herbst 2014) wird die Liste nach einer Frist von 2 Jahren rechtskräftig.

2.2.1.7 Kunststoffe und Verbundwerkstoffe

Rohre und Installationssysteme aus Kunststoff (PE-X, PP, PB, PVC-C, Verbundrohre) müssen den einschlägigen DIN-Normen und DVGW-Arbeitsblättern (in Verbindung mit den Empfehlungen für Kunststoffe in Kontakt mit Trinkwasser (KTW Empfehlungen)) entsprechen. Für diese Werkstoffe gibt es zurzeit keine wasserseitigen Einsatzbeschränkungen, allerdings ist zu berücksichtigen, dass in derartigen Systemen auch Bauteile aus metallenen Werkstoffen vorhanden sein können, die Einsatzbeschränkungen unterliegen können.

[1] Homepage des Umweltbundesamtes: (http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/downloads/trinkwasser/liste_trinkwasserhygienisch_geeignete_metallene_werkstoffe.pdf).

2.2.2 Werkstoffe für die öffentliche Wasserversorgung

Das Trinkwasser soll bei seinem Transport vom Versorgungsunternehmen bis zum Verbraucher möglichst wenig von seiner ursprünglichen Beschaffenheit verlieren. Gründe für die Veränderung der Wasserqualität können mikrobiologische und chemische Vorgänge und Reaktionen sein, die zwischen dem Rohrleitungswerkstoff und dem Wasser ablaufen.

Die Parameter *Benzo-(a)-pyren, Epichlorhydrin, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe* und *Vinylchlorid* können durch Migration aus Rohrinnnenbeschichtungen und –auskleidungen in das Trinkwasser gelangen. *Nitrit* kann als Folge mikrobiologischer Vorgänge und durch Reduktion von Nitrat bei der Korrosion metallener Werkstoffe gebildet werden.

Bei faserzementhaltigen Werkstoffen (Asbestzement) können bei Wässern, die nicht an Calciumcarbonat gesättigt sind, *Asbestfasern* in das Wasser gelangen. Zur Minimierung des Eintrags wurde in der Trinkwasserverordnung von 1990 die exakte Einstellung des pH-Wertes der Calciumcarbonatsättigung vorgeschrieben [TrinkwV 1990]. Die TrinkwV 2001 lässt zwar unterhalb von pH 7,7 eine Calcitlöslichkeit von 5 bzw. maximal 10 mg/l $CaCO_3$ zu, was einem Gehalt an calcitlösender Kohlensäure von 2,2 bzw. 4,4 mg/l CO_2 entspricht. Diese Säure-Konzentrationen sind allerdings so gering, dass in der Regel nicht mit einer nennenswerten Lösung von Asbestfasern aus der Zementmatrix zu rechnen ist.

Trübungen und hohe *Eisenkonzentrationen* im Trinkwasser sind ein Hinweis auf instationäre Korrosionsvorgänge bei Stahl- und Gussrohren ohne inneren Korrosionsschutz bei Vorliegen ungünstiger Trinkwasserbeschaffenheit und Betriebsbedingungen.

Bei der Wahl der Werkstoffe für *Rohrleitungen in der Wasserverteilung* ist neben den mechanischen Eigenschaften auch das Verhalten des Rohrwerkstoffes gegenüber Korrosion im Innern (Innenkorrosion) und außerhalb des Rohres (Außenkorrosion) zu berücksichtigen. Der bei der Außenkorrosion auftretende Schaden ist hauptsächlich durch einen Wanddurchbruch gekennzeichnet, während Schäden durch Innenkorrosion häufig durch die Beeinträchtigung der Trinkwasserbeschaffenheit sichtbar werden (z.B. Trübung, Rostwasserbildung). Durch das Aufwachsen voluminöser fest haftender Korrosionsprodukte (Rostknollen, Pusteln) können mit zunehmender Betriebszeit der Rohrleitungen ihre hydrodynamischen Eigenschaften, z.B. erhöhter Druckverlust, negativ beeinflusst werden. Tabelle 8 enthält die heute üblichen Rohrleitungswerkstoffe und die Maßnahmen gegen Innen- und Außenkorrosion.

Tabelle 8: Werkstoffe für Verteilungsleitungen

Werkstoff	Verbindungsarten	Nenn-weite mm	Innenschutz	Außenschutz
Stahl St	Schweißen Steckmuffen Flansche	bis 3200	ohne Bitumen-Beschichtung, EP-Beschichtung ZM-Mörtel ohne Kunststoffzu-satz	PE- oder Polyester-Umhüllung ZM-Mörtel
Duktiler Guss GGG	Steckmuffen Stopfbüchsenmuffen	bis 1800	ohne Bitumen-Beschichtung, EP-Beschichtung ZM-Mörtel ohne Kunststoffzu-satz	PE-Umhüllung Bitumen-Umhüllung ZM-Mörtel
Asbestzement AC	Steckmuffen	bis 1000	ohne Bitumen-Beschichtung	ohne
Spannbeton Z	Steckmuffen mit Rollgummi	bis 3000	ohne	ohne Bitumen-Umhüllung
Polyäthylen PE	Steckmuffen Spiegelschweißen Kupplungen	bis 500	ohne	ohne
Polyvinylchlorid PVC	Steckmuffen	bis 400	ohne	ohne
Grauguss GG	Schraubmuffen Stopfbüchsenmuffen	bis 1200	ohne Bitumen-Beschichtung	Bitumen-Umhüllung
Nichtrostender Stahl	Schweißen Flansche	bis 2000	ohne	ohne

2.2.2.1 Unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe, Gusseisen

Werden die wasserseitigen Bedingungen für eine gleichmäßige Flächenkorrosion erfüllt, so bilden sich auf den Innenoberflächen von Rohrleitungen aus **unlegierten** oder **niedriglegierten Eisenwerkstoffen** und **Gusseisen** bei entsprechenden Strömungsbedingungen (größer etwa 0,1 m/s) korrosionsschützende Deckschichten aus (Abbildung 4). Die Deckschichtbildung ist erschwert und ungleichmäßig, wenn der Anionenquotient S_1 den angegeben Wert von 1 überschreitet.

Parameter	Anforderung
Gleichmäßige Flächenkorrosion	
$c(O_2)$	> 3 mg/l
pH-Wert	> 7,0
$K_{s4,3}$	> 2 mmol/l
$c(Ca^{2+})$	> 1 mmol/l
Ungleichmäßige Flächenkorrosion	
$S_1 = \frac{c(Cl^-) + c(NO_3^-) + 2c(SO_4^{2-})}{c(HCO_3^-)}$	< 1 [1)]
	[1)] Erfahrungswert
Keine Deckschichten bei: $c(O_2)$ < 0,1 mg/l und $K_{B8,2}$ < 0,05 mmol/l	

Abbildung 4: Einsatzbereiche für unlegierten und niedriglegierten Stahl nach DIN 50930-6, DIN EN 12502-5

2.2.2.2 Zementmörtelauskleidungen

Für die *Inbetriebnahme* von Trinkwasserleitungen mit Zementmörtelauskleidungen sind ggf. besondere Maßnahmen erforderlich; sie betreffen insbesondere die Vermeidung einer Alkalisierung des Wassers. Zementmörtelauskleidungen reagieren bei Kontakt mit Wasser alkalisch. Das kann bei der Inbetriebnahme je nach Wasserbeschaffenheit zu einer Erhöhung des pH-Wertes führen. Besonders bei weichen, wenig gepufferten Wässern kann der obere Grenzwert der Trinkwasserverordnung für den pH-Wert von 9,5 überschritten werden. Die Dauer der pH-Wert-Überschreitung hängt dabei von der Wasserbeschaffenheit und den Betriebsbedingungen ab. Der pH-Wert steigt tendenziell

- mit abnehmender Strömungsgeschwindigkeit des Wassers
- mit zunehmender Kontaktdauer Wasser/Mörtel
- mit abnehmendem Volumen/Flächenverhältnis bzw. abnehmender Nennweite der Rohre.

Das DVGW-Arbeitsblatt W 346 beschreibt die Wässer (Leitparameter $K_{S4,3}$), in denen hohe pH-Werte auftreten können (Tabelle 9) und mit welchen Maßnahmen dies vermindert oder verhindert werden kann (Tabelle 10).

Tabelle 9: Einteilung der Wässer und Maßnahmen zur Vermeidung hoher pH-Werte (DVGW W 346)

Wassertyp	$W_{KS}I$	$W_{KS}II$	$W_{KS}III$
$K_{S4,3}$ (mmol/l)	< 0,5	0,5 bis 2	> 2
pH-Wert-Erhöhung	immer erheblich	kann mit der Zeit abnehmen	gering, nimmt schnell ab
Maßnahmen	immer erforderlich	ggf. erforderlich	im Allgemeinen nicht erforderlich
ZM-Behandlung	immer erforderlich	ggf. erforderlich	erfolgt beim Einfahren
Wasserbehandlung	ggf. erforderlich	im Allgemeinen nicht erforderlich	entfällt

ZM-Behandlung: Werkstoffseitige Maßnahmen zur Vermeidung oder Verhinderung einer pH-Wert-Erhöhung

Wasserbehandlung: Medienseitige Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung der pH-Wert-Erhöhung

Tabelle 10: Besondere Maßnahmen bei Wässern des Typs $W_{KS}II$ (DVGW W 346)

$K_{S4,3}$ (mmol/l)	Nennweite	Art der Rohrleitung und Betriebsbedingungen
0,5 bis 1	unter DN 400	Endstränge und gering durchströmte Versorgungsleitungen
1 bis 2	unter DN 150	Endstränge und Rohrleitungen mit sehr geringer Abnahme

Eine wesentliche Maßnahme zur Behandlung des Zementmörtels (ZM-Behandlung) ist die Vorcarbonatisierung. Hierunter versteht man die Bildung von Calciumcarbonat-Deckschichten auf der ZM-Oberfläche. Die Maßnahmen zur Vorcarbonatisierung lassen sich unterteilen in

- Vorcarbonatisierung der ZM-Oberfläche mit Wässern vor der Inbetriebnahme (größere Rohrdurchmesser, Wässer des Typs $W_{KS}II$)

- Spülen und Einfahren der Rohre mit ZM-Auskleidung mit härteren Wässern
- Einfahren der Rohre mit ZM-Auskleidung mit einem durch Zusätze veränderten weichen Wasser (Zugabe von Natriumhydrogencarbonat) (Wässer des Typs WKSI und WKSII)
- Behandlung der ZM-Auskleidung mit Kohlenstoffdioxid (CO_2-Begasung).

2.2.2.3 Korrosionsschutz von Guss- und Stahlrohren durch organische Beschichtungen

Guss- und Stahlrohre wurden in Deutschland bis Anfang der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts fast ausschließlich mit *bituminösen Stoffen* beschichtet. Unter bituminösen Stoffen wurden sowohl Materialien auf Erdölbitumen- als auch auf Steinkohlenteerpech-Basis verstanden. Aufbau, Anwendungsbereich und Prüfung der Beschichtungen wurde in den inzwischen zurückgezogenen DVGW-Arbeitsblättern GW 5 und GW 6 festgelegt [DVGW-GW 5, 1971; DVGW-GW 6, 1969]. Gussrohre für Trinkwasser hatten in Deutschland Teerauskleidungen, während Stahlrohre generell mit Bitumen ausgekleidet wurden. Die dünnen, nicht porenfreien Innenbeschichtungen auf Bitumen- und Teerbasis hatten nur eine zeitliche begrenzte Korrosionsschutzwirkung. Nach kurzer Betriebszeit bildeten sich teilweise voluminöse Schichten, welche die Auskleidungen nahezu vollständig abdeckten. Die hygienische Prüfung der Auskleidungen beschränkte sich auf die Abgabe von Geruchs- und Geschmacksstoffen an das Trinkwasser. Untersuchungen auf die gesundheitlich relevanten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe wurden nicht durchgeführt. Bis Ende 1973 wurden die Teerauskleidungen von Gussrohren durch Auskleidungen aus Bitumen und Zementmörtel ersetzt.

Aus hygienischen Gründen und wegen der erwünschten sehr langen Nutzungsdauer von einigen Jahrzehnten und vor allem auch wegen der Vervollständigung der Auskleidung an den Rundschweißnähten an Stahlrohren werden für Wasserleitungen heute zugunsten von Zementmörtel-Auskleidungen nahezu keine organischen Auskleidungen mehr eingesetzt.

Trinkwasserrohre aus duktilem Gusseisen, die werkseitig mit Zementmörtel ausgekleidet werden, sind in den Verbindungsbereichen mit Bitumen beschichtet. Für alle Bitumenbeschichtungen im Trinkwasserbereich kommen nur geeignete *Bitumenlacke* aus speziellem lebensmitteltauglichem Bitumen zum Einsatz. Diese haben die Anforderungen der KTW-Empfehlungen und des DVGW-Arbeitsblattes W 270 zu erfüllen.

Innenbeschichtungen auf PE-Basis haben bei Wasserverteilungsrohren praktisch keine Bedeutung. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Zulassung entsprechend der KTW-Empfehlungen vom Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin zurückgezogen wurde. Damit liegt die Verantwortung entsprechend dem Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz [LFBG, 2005] beim Hersteller bzw. Anwender. In der 195. Mitteilung; Bundesgesundheitsblatt 40 (1998), wird empfohlen, sich auf Gutachten, Leitlinien des Umweltbundesamtes und andere technische Regeln, beispielsweise den US-Regelungen der FDA, zu beziehen.

2.2.2.4 Kunststoffe

Kunststoffe, wie z.B. PVC und PE verhalten sich gegenüber Rohwasser oder Trinkwasser für die Trinkwasseraufbereitung korrosionschemisch inert. Entsprechend den Angaben in Tabelle 8 werden sie bevorzugt für Hausanschlussleitungen und für Verteilungsleitungen bis DN 400 eingesetzt. Anforderungen an Kunststoffrohre ergeben sich aus § 31 des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes. Danach dürfen von dem Bedarfsgegenstand auf das Lebensmittel – hier Trinkwasser – keine Stoffe übergehen, „ausgenommen gesundheitlich, geruchlich und geschmacklich unbedenkliche Anteile, die technisch unvermeidbar sind“. Diese Anforderung ist in ähnlicher Form in § 17 TrinkwV 2001 enthalten.

Die gesundheitlich-hygienischen Anforderungen an Bedarfsgegenstände mit Trinkwasserkontakt sind in den „Empfehlungen von Kunststoffen und anderen nichtmetallenen Werkstoffen für den Trinkwasserbereich“ („KTW-Empfehlungen“) festgelegt.

3 Wechselwirkung des Trinkwassers mit im Verteilungsnetz und in der Trinkwasser-Installation der Verbraucher eingesetzten Werkstoffen – vor und nach Änderung der Versorgungssituation

Im Rohrnetz sind bei den Transport- und Verteilleitungen noch eine signifikante Anzahl von Guss- und Stahlrohren ohne inneren Korrosionsschutz verlegt. Die Auswertung der Rohrnetzdaten zur Fließgeschwindigkeit zeigt, dass diese Rohre auch in Bereichen liegen, in denen von überwiegend Stagnationsbedingungen sowie geringeren Fließgeschwindigkeiten (< 0,05 m/s) auszugehen ist. Der Anteil an AZ-Rohren ist mit insgesamt ca. 6 km Rohrlänge als vergleichsweise gering anzusehen. Stahlrohre mit Zementmörtelauskleidung sind ebenfalls nur in geringen Anteilen verlegt. Der überwiegende Rohrnetzbestand besteht aus PE und PVC-Rohren. Bei Neuverlegungen werden in den meisten Fällen PE-Leitungen (> DN 200) verwendet.

Bei den Hausanschlussleitungen überwiegen Kunststoffmaterialien (PE und PVC), aber es sind noch Rohre aus Stahl und Guss verlegt, wobei in Anbetracht der angegebenen Nennweiten im Falle der Stahlrohre eher von verzinkten Stahlrohren auszugehen ist.

Bei den Materialien der Trinkwasser-Installation wird für die Korrosionsbewertung von den üblicherweise verlegten metallenen Werkstoffen wie Kupfer, Kupferwerkstoffe (Messing, Rotguss), verzinkter Stahl und nichtrostender Stahl ausgegangen.

In Tabelle 11 sind grundlegenden Daten der zur Bewertung verendeten Wässer zusammengestellt. Falls notwendig, wurden die zur Verfügung stehenden Einzelwässer zusätzlich berücksichtigt. Für die Bewertung wurden entsprechende Analysendaten durch die H_2U aqua.plan.Ing-GmbH zur Verfügung gestellt.

Tabelle 11: Zusammensetzung der zur Bewertung verwendeten Wässer

Parameter	Einheit	Grenzwerte	Trinkwasser WW Eichenkamp 17.04.2013	Trinkwasser WW Eichenkamp 25.03.2014	WTV Median 2012 - 2013	WTV Min 2012 - 2013	WTV Max 2012 - 2013	WBV Median 2009 - 2013	WBV Min 2009 - 2013	WBV Max 2009 - 2013
Wassertemperatur	℃	-	19,4	13,0	10,2	10,2	10,2	16,9	13,5	19,6
pH-Wert	-	-	7,35	7,57	8,00	7,90	8,20	7,36	7,23	7,53
Spez. Elektr. Leitfähigkeit (20℃)	µS/cm	2500	613	612	353	296	374	764	669	865
Säurekapazität bis pH 4,3 ($K_{S\,4,3}$)	mol/m³	-	3,03	2,95	1,54	1,19	1,68	3,72	3,37	4,06
Basekapazität bis pH 8,2 ($K_{B8,2}$; -K_{S8}	mol/m³	-	0,30	0,15	0,01	0,01	0,02	0,35	0,24	0,58
Summe Erdalkalien	mol/m³	-	2,15	2,02	1,20	1,01	2,54	2,54	2,19	2,96
Calcium	mol/m³	-	1,68	1,67	0,94	0,79	1,02	2,10	1,82	2,45
Chlorid	mol/m³	7,05	1,61	1,64	0,84	0,76	0,90	1,97	1,84	2,12
Nitrat	mol/m³	0,81	0,30	0,31	0,32	0,27	0,36	0,35	0,26	0,52
Sulfat	mol/m³	2,50	1,25	1,13	0,33	0,30	0,36	0,78	0,65	1,01
Organischer Kohlenstoff (TOC)	g/m³	ohne anormale Veränderung	<0,5	<0,5	0,6	0,6	0,6	k.A.	k.A.	k.A.
Sauerstoff	g/m³	-	k.A.	5,0	10,9	10,2	11,9	2,8	1,6	5,4

In den folgenden Kapiteln 3.1 und 3.2 werden die zu erwartenden Änderungen des Korrosionsverhaltens werkstoffspezifisch dargestellt und bewertet. Es werden für die relevanten

Werkstoffe die wasserseitigen Leitparameter der DIN 50930-6 und der DIN EN 12502, Teile 2 bis 5, den Wasserbeschaffenheitsparametern des zurzeit im Versorgungsbereich verteilten Trinkwassers und des zukünftigen Trinkwassers des WTV gegenübergestellt und beurteilt.

3.1 Verteilungsnetz

3.1.1 Un- und niedriglegierte Eisenwerkstoffe, Gusseisen

Die Auswertung der Daten in Tabelle 12 zeigt, dass die wasserseitigen Bedingungen für die Ausbildung schützender Deckschichten bei unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen bei der aktuellen Wasserbeschaffenheit nur eingeschränkt gegeben sind. Der S_1-Wert liegt oberhalb des Erfahrungswertes von ca. 1, bei dessen Überschreiten das Rostwasserbildungspotenzial deutlich ansteigt (Abbildung 5). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der diskrete Bereich, in dem Probleme mit Rostwasser auftreten können, schon bei S_1-Werten von 0,7 beginnt. Unter Berücksichtigung der wasserseitigen Randbedingungen sollten Probleme mit Trübungen des Wassers und höheren Eisenkonzentrationen vorzugsweise bei schlecht durchflossenen Rohrnetzbereichen mit geringen Fließintensitäten auftreten. Im vorliegenden Fall wären dies Bereiche, in denen die Fließgeschwindigkeit unterhalb von 0,05 m/s liegen.

Tabelle 12: Gegenüberstellung der Auswertekriterien und der Wasserdaten, un- und niedriglegierte Eisenwerkstoffe

Einsatzkriterien für un- und niedriglegierte Eisenwerkstoffe nach DIN 50930-6 und DIN EN 12502-5										
Parameter	Einheit	Kriterium DIN 50 930/6 DIN EN 12502/5	Trinkwasser WW Eichenkamp	Trinkwasser WW Eichenkamp	WTV Median	WTV Min	WTV Max	WBV Median	WBV Min	WBV Max
			17.04.2013	25.03.2014	2012 -2013	2012 -2013	2012 -2013	2009 - 2313	2009 - 2313	2009 - 2313
Sauerstoff (O_2)	g/m³	> 3		5,0	10,9	10,2	11,9	2,8	1,6	5,4
pH-Wert	-	> 7	7,35	7,57	8,00	7,90	8,20	7,36	7,23	7,53
Säurekapazität bis pH 4,3 ($K_{S\,4,3}$)	mol/m³	> 2	3,03	2,95	1,54	1,19	1,68	3,72	3,37	4,06
Calcium (Ca^{2+})	mol/m³	> 1,0	1,70	1,67	0,94	0,79	1,02	2,10	1,82	2,45
Korrosionsfaktor S_1	-	< 1,0*	1,04	1,04	1,18	1,37	1,18	1,04	1,01	1,15

*Erfahrungswerte aus der Praxis und aus Korrosionsuntersuchungen in praxisnahen Testanlagen

Die Probleme mit Trübungen des Wassers sollten sich bei der Umstellung auf das Wasser des WTV mindestens in den Netzbereichen verstärken, in denen momentan schon Trübungen auftreten. Ausschlaggebend ist hier die deutlich geringere Pufferung des Trinkwassers des WTV. Es ist davon auszugehen, dass diese Probleme nicht nur zum Zeitpunkt der Umstellung der Wasserqualität auftreten werden, sondern sich auch langfristig bemerkbar machen sollten. Für den Fall der Änderung der Wasserbeschaffenheit wird für das Rohrnetz die Entwicklung eines angepassten Spülprogrammes empfohlen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass in der Regel diese Abhilfemaßnahme nicht im Bereich der Hausanschlussleitungen aus Guss und Stahl zur Problemlösung einsetzbar ist.

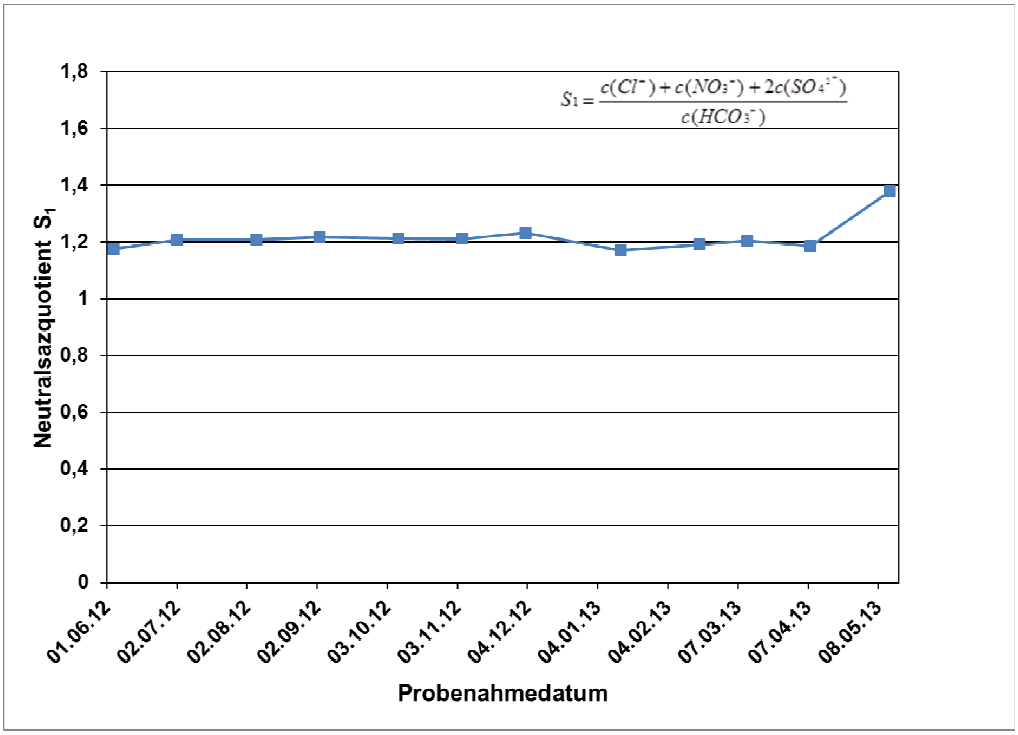


Abbildung 5: Zeitliche Entwicklung des Neutralsalzquotienten S_1, Trinkwasser des WTV

3.1.2 Zementgebundene Werkstoffe

Bei Anwendung des Bewertungsmaßstabs des DVGW-Arbeitsblattes W 346 das Trinkwasser des WTV in die Kategorie $W_{KS}II$ ($K_{S4,3}$ 0,5 bis 2 mmol/l) einzustufen. Bei Einsatz von neuen zementmörtelausgekleideten Rohren ist daher eine längerfristige deutliche Erhöhung des pH-Wertes bei Verteilung des Trinkwassers des WTV nicht auszuschließen. Im Versorgungsbereich Bornheim ist dies in der Praxis kein Problem, da für Neuverlegungen ausschließlich PE-Rohre verwendet werden.

Für die im Rohrnetz verlegten AZ-Rohrleitungen ist eine belastbare Aussage zum Zustand der Rohre nur über eine Untersuchung ausgebauter Rohrproben möglich, da das Korrosionsverhalten dieser Rohre in Kontakt mit Trinkwasser von der gesamten Betriebsdauer und insbesondere von der Calcitlösekapazität des Wassers abhängt.

3.2 Werkstoffe für die Trinkwasser-Installation

3.2.1 Kupfer und Kupferwerkstoffe

Hygienische Bewertung, Migrationsverhalten (Kupferlöslichkeit)

In Tabelle 13 wurden die für die Beurteilung relevanten Wasserparameter den Kriterien der DIN 50930-6 gegenübergestellt. Für die Frage der Zulässigkeit des Einsatzes von Kupfer und Kupferwerkstoffen sind bei der derzeitigen Wasserbeschaffenheit der pH-Wert und der TOC-Gehalt heranzuziehen. Der Einsatz von Kupfer ist unter hygienischen Gesichtspunkten im Versorgungsgebiet zulässig. Dies gilt auch für die ausschließliche Verteilung von Trinkwasser des WTV.

Eine Überprüfung der Kupferkonzentration im Versorgungsgebiet wäre bei der Trinkwasserbeschaffenheit des WTV nicht mehr notwendig, da der pH-Wert oberhalb von 7,8 liegt.

Tabelle 13: Einsatzkriterien für Kupfer und Kupferwerkstoffe

Anwendungsbereich für Kupfer nach DIN 50930-6 und TrinkWV 2001										
Parameter	Einheit	Kriterium DIN 50930-6	Trinkwasser WW Eichenkamp 17.04.2013	Trinkwasser WW Eichenkamp 25.03.2014	WTV Median 2012 - 2013	WTV Min 2012 - 2013	WTV Max 2012 - 2013	WBV Median 2009 - 2013	WBV Min 2009 - 2013	WBV Max 2009 - 2013
pH-Wert	-	≥ 7,4	7,35	7,57	8,00	7,90	8,20	7,36	7,23	7,53
pH-Wert und	-	7,0 ≤ pH < 7,4	7,35	7,57	8,00	7,90	8,20	7,36	7,23	7,53
TOC	g/m³	< 1,5	<0,5	<0,5	0,6	0,6	0,6	k.A.	k.A.	k.A.

Innenverzinntes Kupfer (Verzinnung nach DVGW W 534) kann im gesamten Versorgungsbereich bei der derzeitigen und zukünftigen Wasserbeschaffenheit ohne Einschränkungen eingesetzt werden, da es zurzeit unter hygienischen Gesichtspunkten keine wasserseitigen Anwendungsgrenzen gibt.

Beurteilung des Korrosionsverhaltens, korrosionschemische und korrosionstechnische Bewertung

Die Gegenüberstellung der Kriterien der DIN EN 12502-2 in Bezug auf das Auftreten von Lochkorrosion im erwärmten Trinkwasser (Trinkwasser warm) und der Beschaffenheit des Wassers zeigt anhand des Korrosionsfaktors S dass die Korrosionswahrscheinlichkeit bei Verteilung des derzeitigen Trinkwassers als gering einzustufen ist (Tabelle 14). Diese Bewertung gilt auch nach Änderung der wasserseitigen Korrosionsbedingungen durch Verteilung des Trinkwassers des WTV.

Tabelle 14: Korrosionsverhalten von Kupfer in Trinkwasser warm (TWW)

Bewertung der Lochkorrosionstendenz von Kupfer in warmen Trinkwasser nach DIN EN 12502-2										
Parameter	**Einheit**	**Kriterium DIN EN 12502/2**	**Trinkwasser WW Eichenkamp 17.04.2013**	**Trinkwasser WW Eichenkamp 25.03.2014**	**WTV Median 2012 - 2013**	**WTV Min 2012 - 2013**	**WTV Max 2012 - 2013**	**WBV Median 2009 - 2013**	**WBV Min 2009 - 2013**	**WBV Max 2009 - 2013**
pH-Wert	-	< 7,0	7,35	7,57	8,00	7,90	8,20	7,36	7,23	7,53
Säurekapazität bis pH 4,3 ($K_{S\,4,3}$)	mol/m³	< 1,5	3,03	2,95	1,54	1,19	1,68	3,72	3,37	4,06
Korrosionsfaktor S	-	< 1,5	4,9	5,3	4,7	4,0	5,3	5,3	5,2	4,0
Temperatur	℃	> 60,0	-	-	-	-	-	-	-	-

Seit einigen Jahren treten Schäden an Kupferinstallationen im Warmwasserbereich auch in Wässern mit pH-Werten deutlich über 7 und S-Quotient > 2 auf. Insofern sind die Bewertungsmaßstäbe der DIN EN 12502-2 nur noch bedingt einsetzbar. Allen von IWW bisher beurteilten Schäden ist gemeinsam, dass Schäden bevorzugt in Zirkulationsleitungen auftreten und die Wasser-Temperaturen, wie durch das DVGW-Arbeitsblatt W 551 zur Legionellenprophylaxe gefordert, überwiegend ≥ 60 ℃ betrugen. Bei Auftreten derartiger Schäden im Versorgungsbereich ist somit jeweils eine Schadensanalyse als Einzelfallprüfung durchzuführen.

Kupferlochkorrosion im kalten Trinkwasser

Kupferlochkorrosion im **Kaltwasser**bereich ist ein Multifaktorenproblem, bei dem die Einflussfaktoren Verarbeitung, Inbetriebnahme, Betriebsbedingungen und Trinkwasserbeschaffenheit eine Rolle spielen und sich wechselseitig beeinflussen. In den letzten Jahren traten Schäden an Kupferinstallationen bevorzugt an Installationen auf, in denen harte Kupferstangenrohre verlegt und in denen als Verbindungstechnik das Hartlöten angewendet wurde und/oder in denen die Rohre zum Biegen oder Aushalsen weichgeglüht wurden. Seit dem

Verbot des Hartlötens als Verbindungstechnik (1996) ist die Zahl der Schäden an diesem Rohrtyp deutlich zurückgegangen.

Wasserseitig werden derartige Schäden in Wässern beobachtet, die ein ungünstiges Chlorid/Sulfat-Ionenverhältnis bei gleichzeitig niedrigeren Hydrogencarbonatgehalten aufweisen. Das zurzeit verteilte Wasser ist aus Sicht der Lochkorrosion einigermaßen gut gepuffert; die Sulfat- und Chloridgehalte (gerechnet als Anionenäquivalente) liegen in vergleichbarer Größenordnung, was die Korrosionswahrscheinlichkeit prinzipiell verringert. Unter kritischen Randbedingungen der Trinkwasser-Installation ist allerdings das Vorhandensein von lokalen Vorschädigungen der Rohre im Bereich von Hartlötstellen nicht auszuschließen.

Bewertet man vor diesem Hintergrund die Veränderung der Korrosionsbedingungen durch die zukünftige Verteilung eines deutlich weniger gepufferten Wassers, so ist eine Erhöhung des Gefährdungspotenzials der alten Kupfer-Installationen mit Hartlötverbindungen nicht auszuschließen.

Während sich die Lochkorrosionsschäden an harten Stangenrohren – diese wurden bis zum Jahr 2000 verwendet und von diesem Zeitpunkt an durch Kupferrohre der Ziehfestigkeit halbhart ersetzt – nahezu ausschließlich auf Oberflächenbereiche konzentrierten, die zum Verbinden oder Verarbeiten (Biegen, Aushalsen) signifikant wärmebehandelt worden sind, ist die Ursachensuche für die zurzeit an den jüngeren Kupferinstallationen auftretenden Lochkorrosionsschäden noch nicht abgeschlossen. Ein mögliches Gefährdungspotenzial durch die Änderung der Wasserbeschaffenheit kann aufgrund der momentan fehlenden Datengrundlage nicht schlüssig bewertet werden. Durch die Verringerung der Pufferung des Wassers steigt aber allerdings prinzipiell die Korrosionswahrscheinlichkeit.

Bei innen verzinnten Kupferrohren ist kein Einfluss der Wasserzusammensetzung auf das Korrosionsverhalten der Rohre durch die Wasserbeschaffenheit bekannt.

3.2.2 Armaturen und Installationskomponenten aus Kupferwerkstoffen (Messing, Rotguss)

Armaturen und Rohrverbindungen aus Kupferwerkstoffen sind unter hygienischen Gesichtspunkten ohne Einschränkungen einsetzbar, wenn die für die Herstellung der Bauteile genutzten Werkstoffe in der Liste der trinkwasserhygienisch geeigneten metallenen Werkstoffe des Umweltbundesamtes gelistet sind. Unter diesen Voraussetzungen sind im gesamten Versorgungsbereich bei der derzeitigen Wasserbeschaffenheit und nach Änderung der Wasserbeschaffenheit Kupferwerkstoffe unter *hygienischen Gesichtspunkten* ohne Einschränkung einsetzbar.

Bei der derzeitigen Beschaffenheit des Trinkwassers sind Schäden durch Entzinkung von Standardmessing bei Auswertung der Chlorid- und $K_{S4,3}$-Werte nicht wahrscheinlich. Die Entzinkungswahrscheinlichkeit steigt bei ausschließlicher Verteilung des Trinkwassers des WTV. Hier wären Praxiserfahrungen des WTV über Probleme mit Entzinkung einzuholen, bevor eine Empfehlung zu Übergang auf entzinkungsbeständige Messingwerkstoffe erfolgen sollte.

3.2.3 Schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe

Hygienische Bewertung, Migrationsverhalten (Zink, Blei, Cadmium)

Tabelle 15 enthält eine Gegenüberstellung der Einsatzkriterien für Rohre aus schmelztauchverzinkten Eisenwerkstoffen und der Wasserparameter. Die Auswertung zeigt, dass unter hygienischen Gesichtspunkten der Einsatz verzinkter Rohre im gesamten Versorgungsbereich bei der derzeitigen Wasserbeschaffenheit **nicht mehr zulässig** ist. Im Falle einer Teilsanierung einer alten Installation wäre im Vorfeld durch Wasseranalysen nachzuweisen, dass keine erhöhten Konzentrationen (diese sollten bei kleiner 50 % des Grenzwertes liegen) an Zink und Blei im Wasser vorhanden sind.

Diese Bewertung bezieht sich auf die Abgabe von Zink, Blei und Cadmium an das Trinkwasser bzw. nach Abzehrung der Verzinkungsschicht auf die Abgabe von Eisen an das Trinkwasser.

Tabelle 15: Einsatzkriterien für schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe nach DIN 50930-6

Anwendungsbereich für schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe nach DIN 50930-6										
Parameter	**Einheit**	**Kriterium DIN 50930-6**	**Trinkwasser WW Eichenkamp 17.04.2013**	**Trinkwasser WW Eichenkamp 25.03.2014**	**WTV Median 2012 - 2013**	**WTV Min 2012 - 2013**	**WTV Max 2012 - 2013**	**WBV Median 2009 - 2013**	**WBV Min 2009 - 2013**	**WBV Max 2009 - 2013**
Basekapazität bis pH 8,2 ($K_{B8,2}$)	mol/m³	≤ 0,2	0,30	0,15	0,01	0,01	0,02	0,35	0,24	0,58
Korrosionsfaktor S_1	mol/m³	< 1	1,04	1,04	1,18	1,37	1,18	1,04	1,01	1,15

Für bereits verlegte, alte Installationen aus verzinktem Stahl ändern sich die Korrosionsverhältnisse bei Änderung der Wasserbeschaffenheit insofern, als von einer deutlich höheren Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Rostwasserproblemen auszugehen ist (Tabelle 16). Ausschlaggebend für diese Bewertung sind die üblichen Betriebsbedingungen einer Trinkwasser-Installation mit geringen Fließ- und langen Stagnationszeiten des Wassers in der Rohrleitung.

Selektive Korrosion ist auf Basis des Korrosionsfaktor S_2 nicht wahrscheinlich (Tabelle 16).

Tabelle 16: Einsatzkriterien für schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe nach DIN EN 12502

Einsatzkriterien für schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe nach DIN EN 12502-3										
Parameter	**Einheit**	**Kriterium DIN EN 12502/3**	**Trinkwasser WW Eichenkamp 17.04.2013**	**Trinkwasser WW Eichenkamp 25.03.2014**	**WTV Median 2012 - 2013**	**WTV Min 2012 - 2013**	**WTV Max 2012 - 2013**	**WBV Median 2009 - 2013**	**WBV Min 2009 - 2013**	**WBV Max 2009 - 2013**
Säurekapazität bis pH 4,3 ($K_{S\,4,3}$)	mol/m³	≥ 2,0	3,03	2,95	1,54	1,19	1,68	3,72	3,37	4,06
Calcium (Ca^{2+})	mol/m³	> 0,5	1,70	1,67	0,94	0,79	1,02	2,10	1,82	2,45
Korrosionsfaktor S_1	-	< 0,5*	1,04	1,04	1,18	1,37	1,18	1,04	1,01	1,15
Korrosionsfaktor S_2	-	< 1 oder > 3	4,9	8,9	4,7	5,0	4,5	10,1	12,1	8,0
Nitrat (NO_3^-)	mol/m³	< 0,3	0,30	0,31	0,32	0,27	0,36	0,35	0,26	0,52

Auf verzinkte Eisenwerkstoffe ist auf den Einsatz in warmgehenden Systemen aufgrund der erhöhten Korrosionswahrscheinlichkeit (z.B. Lochkorrosion, Rostwasserprobleme) unabhängig von der Trinkwasserbeschaffenheit zu verzichten [DIN 1988-200].

3.2.4 Nichtrostende Stähle

Nichtrostende Stähle werden in der Trinkwasser-Installation sowohl im Kaltwasser- als auch im Warmwasserbereich eingesetzt. Für den Einsatz von nichtrostenden Stählen im Trinkwasser – kalt und warm – gibt es unter hygienischen Gesichtspunkten keine Einsatzgrenzen.

Bei höheren Chloridkonzentrationen besteht bei einigen nichtrostenden Stählen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Loch- oder Spaltkorrosion bei Kontakt mit Trinkwasser. In Deutschland werden für die Trinkwasser-Installation (Rohre, Rohrverbinder) in der Regel austenitische nichtrostende Stähle (z.B. 1.4401, 1.4404) oder im Korrosionsverhalten als gleichwertig geprüfte ferritische Stähle (1.4521; Verwendung als Rohr) eingesetzt. Diese können in den vorliegenden Trinkwässern in der Regel als korrosionsbeständig angesehen werden. Bei Desinfektionsmaßnahmen in der Trinkwasser-Installation mit hohen Chlorkonzentrationen sind die Angaben des Systemherstellers zu beachten.

4 Bewertung einer schrittweisen Änderung der Wasserbeschaffenheit

Als optionale Vorgehensweise wurde diskutiert, inwieweit eine stufenweise Umstellung der Wasserbeschaffenheit geeignet sei, negative Konsequenzen im Hinblick auf das Korrosionsverhalten der metallenen Werkstoffe zu vermeiden.

Bei der Bewertung sind kurz- bzw. mittelfristige und langfristige Konsequenzen werkstoffspezifisch zu unterscheiden.

Für die un- und niedriglegierten Eisenwerkstoffe (Stahl, Guss) im Rohrnetz und in der Trinkwasser-Installation der Verbraucher (verzinkter Stahl) verschiebt die stufenweise Erhöhung des Mischungsanteils des Trinkwassers des WTV anteilmäßig das Rostwasserbildungspotenzial sukzessive in Richtung einer zunehmenden Korrosionswahrscheinlichkeit. Die Intensität der Trübungsprobleme wird wahrscheinlich zunächst geringer sein als bei direkter Umstellung auf das Trinkwasser des WTV. Allerdings ist nicht davon auszugehen, dass sich die Korrosionsprobleme durch diese Maßnahme vermeiden lassen. Das Korrosionsverhalten des Werkstoffes wird langfristig durch die korrosionschemischen Eigenschaften des Trinkwassers des WTV bestimmt.

Um die Auswirkungen des Wasserwechsels belastbar einschätzen zu können, wäre eine Bestandsaufnahme der Situation im Rohrnetz von Vorteil. Bausteine dieser Bestandsaufnahme wäre die Beschreibung der Ablagerungsprozesse im Netz, die Analyse von Spülwässern zur Unterscheidung zwischen korrosionsbedingtem Eintrag und Mobilisierungsanteil von Ablagerungen, Onlinemessungen der Trübung in neuralgischen Rohrnetzbereichen.

Über die statistische Auswertung der Daten und ihrer Bewertung in Form einer Risikoanalyse, z.B. mit Ampelfunktion, lässt sich abschätzen, inwieweit sich die korrosionschemische Situation des Rohrnetzes in Abhängigkeit der stufenweisen Erhöhung des Anteils des Trinkwassers des WTV in Richtung einer höheren Korrosionsintensität verschiebt.

Im Hinblick auf die Frage einer möglichen Korrosionsgefährdung insbesondere der Alt-Installationen aus Kupfer (Inbetriebnahme vor 1996 und hartgelötet) kann eine stufenweise Erhöhung des Anteils des Trinkwassers des WTV durch aus Vorteile bringen. Das Gefährdungspotenzial bezieht sich im Falle von Kupferlochkorrosion auf die Aktivierung und von vorhandenen Lochfraßstellen, die unter den gegebenen Bedingungen insbesondere eine Funktion der Pufferung des Wassers ist. Eine Stabilisierung aktivierter Lochkorrosionsstellen wird umso eher erfolgen können, je geringer die Pufferung des Wassers ist. Insofern wäre die sofortige Umstellung des Wassers als die ungünstigste Variante anzusehen.

Im Falle des Messings wird durch eine sukzessive Umstellung der Wasserqualität kein Vorteil erreicht, da nicht davon auszugehen ist, dass bereits eingesetzte Messingbauteile mit ausgebildeter Deckschicht schadensanfällig werden. Die Frage der Entzinkung von Standardmessing stellt sich für den Einsatz von neuen Bauteilen aus diesem Werk, wenn im Versorgungsgebiet ausschließlich das weiche Trinkwasser des WTV verteilt würde.

Eine Erhöhung des Mischungsverhältnisses des Anteils des Trinkwassers des WTV auf 30 bis 35% würde aus korrosionschemischer Sicht nur eine geringfügige Änderung der Korrosionsbedingungen nach sich ziehen, da die Erhöhung des Mischungsanteils zwar die Pufferung des Wassers herabsetzt, allerdings gleichzeitig auch die Anionenkonzentration verringert wird, so dass sich in der Gesamtsumme die unterschiedlichen Effekte nivellieren sollten.

Die Calcitlösekapazität des Mischwassers liegt bei den hier angedachten Mischungsverhältnissen etwas oberhalb des Grenzwertes des Calcitlösevermögens am Wasserwerksausgang, allerdings unterhalb des im Versorgungsgebiets vereinbarungsgemäß angesetzten Grenzwertes von 10 mg/l $CaCO_3$, so dass auch im Falle der Asbestzementrohre keine nachteiligen Konsequenzen zu erwarten sind.

5 Literatur

Becker, A.; Patzelt, Th.; Overath, H. (1998a): Durchführung von Versuchen zur Klärung des Einflusses einer Senkung der Gesamthärte und der Karbonathärte auf Rohre aus metallischen und asbestzementhaltigen Werkstoffen. Berichte aus dem IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung GmbH. Mülheim an der Ruhr, Band 12

Becker, A.; Overath, H. (1998b): Durchführung von Versuchen zur Klärung des Einflusses einer zentralen Enthärtung und Entkarbonisierung des Trinkwassers auf das Verhalten von repassivierten Lochfraßstellen in Kupferrohren. Berichte aus dem IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung GmbH. Mülheim an der Ruhr, Band 24

Becker, A.; Overath, H. (2003): Untersuchungen zur Auswirkung von wasserseitigen Maßnahmen auf die Entwicklung von Schäden durch Lochkorrosion in Kupferleitungen. Abschlussbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben 02WT 9983/0. Mülheim an der Ruhr: IWW

Becker, A. (2006): Neuartige Schäden durch Lochkorrosion in Warmwasser-Zirkulationsleitungen aus Kupfer. GWA Gewässerschutz-Wasser-Abwasser 202, 23/1-23/9

DIN 1988: Technische Regeln für Trinkwasserinstallationen (TRWI)

Teil 100: Schutz des Trinkwassers, Erhaltung der Trinkwassergüte (2011-08)

Teil 200: Installation Typ A (geschlossenes System) - Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe (2012-05)

Teil 300: Ermittlung der Rohrdurchmesser (2012-05)

Teil 500: Druckerhöhungsanlagen mit drehzahlgeregelten Pumpen (2011-02)

Teil 600: Trinkwasser-installationen in Verbindung mit Feuerlösch- und Brandschutzanlagen (2010-12)

DIN 2614 (1990-02): Zementmörtelauskleidungen für Guss- und Stahlrohre und Formstücke; Verfahren, Anforderungen, Prüfungen

DIN 2880 (1999-01): Anwendung von Zementmörtel – Auskleidung für Gussrohre, Stahlrohre und Formstücke

DIN 50930 (1993-02): Korrosion der Metalle. Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wässer

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 Kupferwerkstoffen

DIN 50930-6 (2001-08): Korrosion der Metalle. Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wässer. Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit

DIN 50930-6 (2013-10): Korrosion der Metalle. Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wässer. Teil 6: Bewertungsverfahren und Anforderungen hinsichtlich der hygienischen Eignung in Kontakt mit Trinkwasser

DIN 50931-1 (1999-11): Korrosionsversuche mit Trinkwässern. Teil 1: Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit

DIN EN 806: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen

Teil 1: Allgemeines (2001-12)

Teil 2: Planung (2005-06)

Teil 3: Ermittlung der Rohrinnendurchmesser – Vereinfachtes Verfahren (2006-07)

Teil 4: Installation (2010-06)

Teil 5: Betrieb und Wartung (2012-04)

DIN EN 1057 (1996-05): Kupfer und Kupferlegierungen. Nahtlose Rundrohre aus Kupfer für Wasser- und Gasleitungen für Sanitärinstallationen und Heizungsanlagen

DIN EN 1254-1 (1998-03): Kupfer- und Kupferlegierungen – Fittings – Teil 1: Kapillarlötfittings für Kupferrohre (Weich- und Hartlöten)

DIN EN 1717 (2001-05): Schutz des Wassers vor Verunreinigungen in Trinkwasser-Installationen und allgemeine Anforderungen an Sicherungseinrichtungen zur Verhütung von Trinkwasserverunreinigungen durch Rückfließen

DIN EN 10240 (1998-02): Innere und/oder äußere Schutzüberzüge für Stahlrohre. Festlegungen für durch Schmelztauchverzinken in automatisierten Anlagen hergestellte Überzüge

DIN EN 10242 (1995-03): Gewindefittings aus Temperguss

DIN EN 12502 (2005-03): Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und –speichersystemen

Teil 1: Allgemeines

Teil 2: Einflussfaktoren für Kupfer und Kupferlegierungen

Teil 3: Einflussfaktoren für schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe

Teil 4: Einflussfaktoren für nichtrostende Stähle

Teil 5: Einflussfaktoren für Gusseisen, unlegierte und niedriglegierte Stähle

DIN EN 15664: Einfluss metallischer Werkstoffe auf Wasser für den menschlichen Gebrauch - Dynamischer Prüfstandversuch für die Beurteilung der Abgabe von Metallen

Teil 1: Allgemeines (2008-06)

Teil 2: Prüfwässer (2010-06)

DVGW-Arbeitsblatt GW 2 (1996-01): Verbinden von Kupferrohren für Gas- und Trinkwasser-Installationen innerhalb von Grundstücken und Gebäuden

DVGW-Arbeitsblatt GW 2 (2002-06): Verbinden von Kupferrohren für Gas- und Trinkwasser-Installationen innerhalb von Grundstücken und Gebäuden

DVGW Arbeitsblatt GW 5 (1971-04) (zurückgezogen): Aufbau und Anwendungsbereich bituminöser Beschichtungen von Guss- und Stahlrohren

DVGW Arbeitsblatt GW 6 (1969-04) (zurückgezogen): Umhüllungen und Auskleidungen auf bituminöser Grundlage für Guss- und Stahlrohre; Anforderungen, Prüfverfahren

DVGW-Arbeitsblatt GW 7 (2002-09): Lote und Flussmittel zum Löten von Kupferrohren für die Gas- und Wasserinstallation

DVGW-Arbeitsblatt GW 8 (1996-01): Kapillarlötfittings aus Kupferrohren; Anforderungen und Prüfbestimmungen

DVGW Arbeitsblatt GW 392 (1981-05): Nahtlosgezogene Rohre aus Kupfer für Gas- und Wasserinstallationen. Änderung zum DVGW-Arbeitsblatt GW 392, Ausgabe 05.1981 durch Ausgabe 03.1982

DVGW Arbeitsblatt GW 392 (2009-07): Nahtlosgezogene Rohre aus Kupfer für Gas- und Trinkwasser-Installationen und nahtlosgezogene, innenverzinnte Rohre aus Kupfer für Trinkwasser-Installationen; Anforderungen und Prüfungen

DVGW Arbeitsblatt GW 541 (2004-10): Rohre aus nichtrostenden Stählen für die Gas- und Trinkwasser-Installation; Anforderungen und Prüfungen

DVGW-Arbeitsblatt VP 617 (1998-07): Nahtlosgezogene innenverzinnte Rohre aus Kupfer für Trinkwasserinstallationen. Anforderungen und Prüfungsbestimmungen

DVGW-Arbeitsblatt W 215: Zentrale Dosierung von Korrosionsinhibitoren

Teil 1: Phosphate (2005-07)

Teil 2: Silikat-Mischungen (2010-04)

DVGW-Arbeitsblatt W 216 (2004-08): Versorgung mit unterschiedlichen Wässern

DVGW Arbeitsblatt W 270 (2007-11): Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich; Prüfung und Bewertung

DVGW Arbeitsblatt W 346 (2000-08): Guss- und Stahlrohrleitungsteile mit ZM-Auskleidung - Handhabung

DVGW Arbeitsblatt W 347 (2006-05): Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasser-Bereich. Prüfung und Bewertung

DVGW-Arbeitsblatt W 534 (2004-05): Rohrverbinder und -verbindungen für Rohre in der Trinkwasser-Installation; Anforderungen und Prüfung

EU-Trinkwasserrichtlinie 1998: Richtlinie des Rates über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (80/778/EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft 229, 11-29

Gesundheitliche Beurteilung von Kunststoffen im Rahmen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes, 195. Mitteilung; Bundesgesundheitsblatt 40, S. 120

Gütegemeinschaft Kupferrohr (1982-11): Güte- und Prüfbestimmungen (Gütebedingungen) für das Gütezeichen Kupfer/RAL der Gütegemeinschaft Kupferrohr e.V. RAL-RG 641/1. Düsseldorf: Gütegemeinschaft Kupferrohr e.V.

KTW (1977): Gesundheitliche Beurteilung von Kunststoffen und anderen nichtmetallischen Werkstoffen im Rahmen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes für den Trinkwasserbereich (KTW-Empfehlungen) 1. Mitteilung, Bundesgesundheitsblatt 20, S. 12

Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch – LFGB (2005-09): Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch. Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch in der

Fassung der Bekanntmachung vom 03. Juni 2013 (BGBl. IS. 1426, das zultzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 5. Dezember 2014 (BGBl IS. 1975) geändert worden ist

Overath, H.; Becker, A.; Patzelt, Th.; Nissing, W. (1997): Abschätzung der Belastung des Klärschlamms mit Kupfer durch Trinkwasser aus Kupferhausinstallationen. Vom Wasser 89, 63-82

TrinkwV 1990: Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) vom 12. Dezember 1990, BGBl. I, S. 2613-2629

TrinkwV 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001). BGBl. Jg. 2001 Teil I Nr. 24 vom 28. Mai 2001, S. 959-980

TrinkwV 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001). Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasserverordnung vom 02. August 2013, BGBl Jg. 2013 Teil I Nr. 46, 2977-

UBA 2004: Beurteilung der Trinkwasserqualität hinsichtlich der Parameter Blei, Kupfer und Nickel. Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 47(3), 296-300

van Loyen, D.; Nissing, W. (2004): Entzinkung von Messing in Trinkwasserinstallationen. In: Korrosion und Korrosionsschutz in Trinkwasser-Installationen. 3-Länder-Korrosionstagung, 19. und 20. April 2004 in Berlin. Frankfurt a. Main: GfKORR

WRMG (2007): Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz – WRMG). Fassung vom 29.04.2007, Bundesgesetzblatt Teil I, 600-603