



**Zeitschrift für die Rohrleitungspraxis**

# **Zementmörtelauskleidungen von Rohren aus Eisenwerkstoffen**

Dr. Hans-Jürgen Kocks

**erschienen in 3R international 4/2005**

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Kontakt: N. Hülsdau (Tel. 0201/82002-33, E-Mail: [n.huelsdau@vulkan-verlag.de](mailto:n.huelsdau@vulkan-verlag.de))

# Zementmörtelauskleidungen von Rohren aus Eisenwerkstoffen

## Teil 2: Hygienische Aspekte

### Cement-mortar linings for ferrous-material pipes

#### Part 2: Hygienic aspect

*„Trinkwasserleitungen sind mit Zementmörtel auszukleiden“. Dies ist eine grundlegende Forderung der DIN 2460 für Wasserleitungen aus Stahl. Die Zementmörtelauskleidung hat sich mit Blick auf die Verarbeitbarkeit der Rohre in der Produktion und an den Baustellen, insbesondere jedoch aber im Betrieb der Leitungen unter korrosionschemischen und hygienischen Aspekten als optimale Lösung erwiesen. Die Zementmörtelauskleidung bietet gute hydraulische Eigenschaften und verhindert Inkrustationen, die Wandalkalität begrenzt die Ausbildung von Biofilmen in den Trinkwassersystemen. Im ersten Teil des Beitrages über die Zementmörtelauskleidung von Rohren aus Eisenwerkstoffen wurden die physikalischen und korrosionschemischen Eigenschaften diskutiert [1]. Der vorliegende zweite Teil behandelt die hygienischen Aspekte, die aktuell auf europäischer aber auch nationaler Ebene Gegenstand umfangreicher Normungsaktivitäten sind.*

*“Pipes for drinking water must be lined with cement mortar.” This is a basic requirement for steel water pipe according to DIN 2460. Both from a corrosion chemical and hygienic viewpoint, cement mortar lining has proved the optimum solution for mill and on-site processing and, in particular, for when the pipeline is in service. Cement mortar lining boasts excellent hydraulic characteristics and prevents encrustation, and its high alkalinity limits biofilm formation in drinking water systems. The first part of the paper on the cement mortar lining of pipes in ferrous materials discussed the lining's physical and corrosion chemical properties [1]. The present second part focuses on the hygienic aspects which are currently the subject of extensive standardization activities at European as well as at national level.*

schen Trinkwasserrichtlinie ist deckungsgleich mit §31 des nationalen Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz. Grundsätzlich soll Trinkwasser entsprechend der gültigen EG-Trinkwasserrichtlinie für die in der Trinkwasserversorgung eingesetzten Materialien nicht korrosiv wirken. Mit Blick auf eine Vielzahl von Werkstoffen in der Trinkwasserversorgung ergeben sich zwangsläufig Anforderungen an die Beschaffenheit des Trinkwassers und damit an einzelne, unter korrosionschemischen Aspekten relevante Parameter. Mit Blick auf Rohre aus Faserzement ist bei der Trinkwasseraufbereitung das Kalk-Kohlensäuregleichgewicht anzustreben. Während unter korrosionschemischen Aspekten bei metallischen Werkstoffen der gesamte Kohlensäuregehalt des Wassers relevant ist, muss bei zementgebundenen Werkstoffen der zum Kalk-Kohlensäuregleichgewicht zählende Kohlensäureanteil von dem darüber hinaus gehenden und damit kalkaggressiven Anteil der Kohlensäurekonzentration unterscheiden werden. Oberhalb von pH 7,7 ist dieser kalkaggressive Anteil der Kohlensäure in jedem Fall zu vernachlässigen. Unterhalb von pH 7,7 darf diese Konzentration laut Trinkwasserverordnung einen Wert von max. 2,2 bzw. 4,4 mg/l im Falle der Mischung zweier Wässer nicht überschreiten [2]. Für Zementmörtelauskleidungen nach DIN 2614 bzw. DIN 2880 gilt generell ein Grenzwert von 7 mg/l.

Zementmörtelauskleidungen unterliegen national den hygienischen Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 347 (Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich). Auf europäischer Ebene existieren derzeit noch keine einheitlichen Anforderungen für eine hygienische Zulassung von Zementmörtelauskleidungen. Der Stand dieser Normungsaktivitäten wird im Folgenden näher betrachtet.

## Einleitung

In der Diskussion chemischer Aspekte einer Zementmörtelauskleidung interessiert nicht nur die Beständigkeit einer Auskleidung unter Berücksichtigung der verschiedenen Wasserparameter oder die Frage möglicher Korrosionen im Spaltbereich einer Stumpfeschweißverbindung, sondern auch die Beeinflussung der Wasserqualität durch Mörtelinhaltstoffe oder Produkte aus der Re-

aktion von Mörtelbestandteilen mit Wasserinhaltsstoffen.

Nach § 17 der gültigen europäischen Trinkwasserrichtlinie dürfen Werkstoffe in Kontakt mit Trinkwasser Stoffe in solchen Konzentrationen abgeben, die höher sind als nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik unvermeidbar. Sie dürfen jedoch die menschliche Gesundheit, den Geruch und den Geschmack des Wassers nicht beeinträchtigen. Diese Regelung der europäi-

## Normen und Regelwerke

Alle Produkte, die in Kontakt mit dem Trinkwasser kommen, unterliegen der europäischen Bauproduktensrichtlinie, die speziell für diese Produkte die strengsten Kriterien anlegt und dem entsprechend nicht nur die Eigenüberwachung durch den Hersteller, sondern darüber hinaus eine Fremdüberwachung fordert. Dies gilt insbesondere für die hygienischen Eigenschaften dieser Produkte. Die grundsätzliche Forderung einer Fremdüberwachung von Produkten für die Wasserversorgung ist in der DIN 2000 „Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb, und Instandhaltung der Versorgungsanlagen“ national bereits verankert. Hier sind entsprechende Nachweise der hygienischen Unbedenklichkeit und der Funktionstauglichkeit für alle Produkte gefordert.



**Dr. Hans-Jürgen Kocks**  
Röhrenwerk Gebr. Fuchs GmbH,  
Siegen  
Tel. +49(0)271/691-170  
E-Mail: hans-juergen.kocks@mannesmann-fuchs.com

**Tab. 1:** Chemikalien zur Rohrleitungsdesinfektion [3]**Table 1:** Chemicals for disinfection of pipes [8]

Bezeichnung	Handelsform	Lagerung	Sicherheits-hinweise	Konzentration in der Rohrleitung	Entsorgung
Chlorbleich-lauge = Natrium-hypochlorid NaOCl	Wässrige Lösungen mit max. 150 g/l Chlor	Lichtgeschützt und kühl, verschlossen, in Auffangwanne	Alkalisch, ätzend, giftig, Schutzausrüstung erforderlich; WGK 2 <sup>1)</sup>	10 – 100 mg/l Chlor i.d.R 50 mg/l	Entchlорung durch Aktivkohlefiltration oder Zugabe von Natriumthiosulfatlösung (2 g technisches Natrium-Thiosulfat je 1 g Chlor) oder Verdünnung bis zur Unschädlichkeit (<0.02 mg/l)
Chlorkalk = Calcium-hypochlorid Ca(OCl) <sub>2</sub>	Granulat oder Tablatten mit ca. 70 % Ca(OCl) <sub>2</sub>	Kühl, trocken, verschlossen	Lösung reagiert alkalisch, ätzend, giftig, Schutzausrüstung erforderlich; WGK 2 <sup>1)</sup>	10 - 100 mg/l Chlor i.d.R 50 mg/l	
Chlordioxid ClO <sub>2</sub>	AQUA-AKTIV 2-Komponenten-Präparat (Natriumchlorit + Natriumperoxodisulfat)	Lichtgeschützt und kühl, nicht zusammen mit Säuren, sauren Salzen und Reduktionsmitteln	Lösung reagiert leicht alkalisch, ätzend, giftig, Schutzausrüstung erforderlich; WGK 2 <sup>1)</sup>	130 ml der gebrauchsfertigen Lösung (= 0.18 mg/l ClO <sub>2</sub> )	Die angegebenen Desinfektionsmittelkonzentrationen unterschreiten die Grenzwerte der TrinkwW, daher problemlose Entsorgung
Kalium-permanganat KMnO <sub>4</sub>	Schwarzes Salz in feinkristalliner Form	In gut verschlossenen Metallbehältern fast unbegrenzt haltbar	Wirkt oxidierend; konzentrierte Lösungen erfordern Hautschutz; WGK 2 <sup>1)</sup>	5-15 mg/l KMnO <sub>4</sub>	Verdünnung bis zur Unschädlichkeit (<0.63 mg/l KMnO <sub>4</sub> ) <sup>1)</sup> ; Reduktion mit Ascorbinsäure (Vitamin C)
Wasserstoff-peroxyd H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wässrige Lösungen 5%, 15%, 30%, 35% ...	Lichtgeschützt, kühl, Verunreinigungen unbedingt vermeiden (Zersetzungsgefahr)	Bei Lösungen 5% Schutzausrüstung erforderlich; WGK 1 <sup>1)</sup>	100 – 150 mg/l H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Zerfällt sehr leicht in Wasser und Sauerstoff, daher problemlose Entsorgung

<sup>1)</sup> Wasser-Gefährdungs-Klasse: WGK 0 = im allgemeinen nicht wassergefährdend, WGK 1 = schwach wassergefährdend, WGK 2 = wassergefährdend, WGK 3 = stark wassergefährdend

Auf europäischer Ebene werden die dazu erforderlichen hygienischen Anforderungen für Werkstoffe in Kontakt mit Trinkwasser im Rahmen des EAS (European Acceptance Scheme) erarbeitet. Die Zuständigkeit für die Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe wurde bisher in einer Regulatorengruppe behandelt, die sich unter anderem aus Vertretern der für die Gesundheit zuständigen Ministerien aller Mitgliedstaaten der EU zusammensetzte. Nachdem die Regulatorengruppe durch die Europäische Kommission aufgelöst wurde, ist die weitere Zuständigkeit und Bearbeitung dieser Fragestellungen derzeit ungeklärt. Solange auf europäischer Ebene keine einheitlichen Richtlinien existieren, unterliegt die Regelung der hygienischen Anforderungen weiterhin nationaler Verantwortlichkeit.

Die Normungsaktivitäten zur Prüfung zementgebundener Materialien werden vom CEN TC 164 (Wasserleitung) und hier der AHG 6 innerhalb der WG 3 „Effects of materials in contact with drinking water“ wahrgenommen. Zwangsläufig berühren diese Aktivitäten auch das CEN TC 104, das für die europäischen Normungsaktivitäten rund um den Beton zuständig ist. In den Aktivitäten der AHG 6 „Cementitious Products“ sind

somit nicht nur Vertreter des CEN TC 164, sondern auch des CEN TC 104 eingebunden. Die Aktivitäten der AHG 6 werden im DVGW-Projektkreis „W 347“ des DVGW-TK Innenkorrosion als Spiegelgremium national begleitet. Dieses Gremium ist derzeit auch für die nationale Regelung der hygienischen Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe zuständig.

Das Beispiel des aktuellen Arbeitsblattentwurfes W 347 zeigt, wie diese europäisch erarbeiteten Grundlagen die nationale Regelsetzung in nicht unerheblichem Maße beeinflussen. So wurde die europäisch abgestimmte Prüfvorschrift zur Bestimmung organoleptischer Parameter (prEN 14944-1) bzw. der Migration von Schwermetallen (prEN 14944-3) in die überarbeitete Fassung des DVGW-Arbeitsblattes W 347 aufgenommen. Dieses Arbeitsblatt definiert die Anforderungen zementgebundener Werkstoffe für vier Anwendungsbereiche:

- Auskleidungen für Guss- und Stahlrohre
- Betonrohre (ab DN 300), Behälterauskleidungen
- Fliesenkleber, Auskleidungen für Formstücke, Reparaturmörtel usw.
- Bauteile für Trinkwasserschutzgebiete.

Wie die derzeit noch gültige Version des Arbeitsblattes unterscheidet auch der neue Arbeitsblattentwurf drei Arten von Prüfungen:

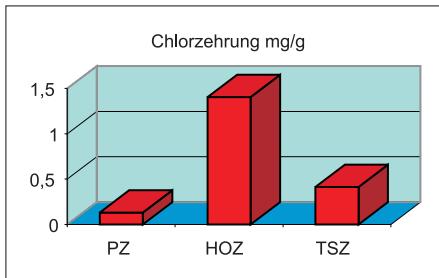
- Organoleptische Prüfungen (Geruch, Geschmack, Trübung, Schaumbildung, Färbung)
- Prüfung weiterer migrierender Komponenten (TOC, As, Pb, Cr, Li, Ni, Cd)
- Mikrobiologische Prüfung (nach DVGW-Arbeitsblatt W 270).

Die Migrationsprüfung wurde im aktuellen Arbeitsblattentwurf um die Bestimmung der Elemente Lithium, Nickel und Cadmium erweitert. Eine mikrobiologische Prüfung entsprechend DVGW-Arbeitsblatt W 270 ist nach wie vor nur bei Mörtelrezepturen mit organischen Zusätzen vorgesehen.

Das DVGW-Arbeitsblatt W 347 bildet zusammen mit den KTW-Empfehlungen und dem DVGW-Arbeitsblatt W 270 die Prüfgrundlage und damit die Zulassungsvoraussetzung für alle in der Trinkwasserverteilung gebräuchlichen Werkstoffe. Neben dem Einsatz entsprechend dieser Richtlinien zugelassener Materialien geben weitere, auf die jeweilige Anwendung bezogene Richtlinien Hinweise für einen unter hygienischen Aspekten korrekten Einbau. Auch hier sind einige systemgebundene Besonderheiten der Zementmörtelauskleidung zu berücksichtigen. Erste Hinweise gibt die Lieferbedingung für die Zementmörtelauskleidung, die DIN 2614 bzw. die DIN 2880, die auf Besonderheiten bei der Inbetriebnahme in Bezug auf die Desinfektion und Alkalisierung hinweist. Entsprechend wurde für den Anwender das DVGW-Arbeitsblatt W 346 „Handhabung zementmörtelausgekleideter Rohrleitungen“ im Jahre 2000 durch zwei Anhänge erweitert, die sich mit Fragen der Desinfektion und dem Phänomen der pH-Werterhöhung bei der Inbetriebnahme zementmörtelausgekleideter Leitungen näher befassen. Auf diese beiden Aspekte soll gesondert eingegangen werden.

## Desinfektion zementmörtelausgekleideter Rohrleitungen

Nach Abschluss einer Wasserrohrverlegung bilden Druckprüfung und Desinfektion die letzten Hürden vor der Inbetriebnahme einer Wasserrohrleitung. Generell hängt der Erfolg einer abschließenden mikrobiologischen Untersuchung zur Freigabe der Rohrleitung wesentlich von der Sorgfalt während der Verlegung ab. Verunreinigungen bzw. Verkeimungen sollten durch das Verschließen der Rohrenden und die Verwendung hygienisch einwandfreier Materialien bei der Montage vermieden werden. Auf europäischer Ebene liefert die DIN EN 805 einige



**Bild 1:** Vergleich der Chlorzehrung unterschiedlicher Zementarten [4]

**Fig. 1:** Chlorine consumption of different kinds of cement [9]

grundlegende Hinweise zur Desinfektion von Rohrleitungen, verweist jedoch spezielle Fragestellung der jeweiligen Vorgehensweise wie bspw. die Spülmenge und -dauer, Desinfektionsmittelkonzentrationen oder Entsorgung auf die Verantwortlichkeit des Planers. National ist die übliche Vorgehensweise zur Desinfektion von Rohrleitungen im DVGW-Arbeitsblatt W 291 „Desinfektion von Wasserversorgungsanlagen“ festgelegt. Das Arbeitsblatt nennt drei Verfahren zur Desinfektion von Rohrleitungen:

- Spülverfahren
- Statisches Verfahren
- Dynamisches Verfahren.

### **Das Spülverfahren**

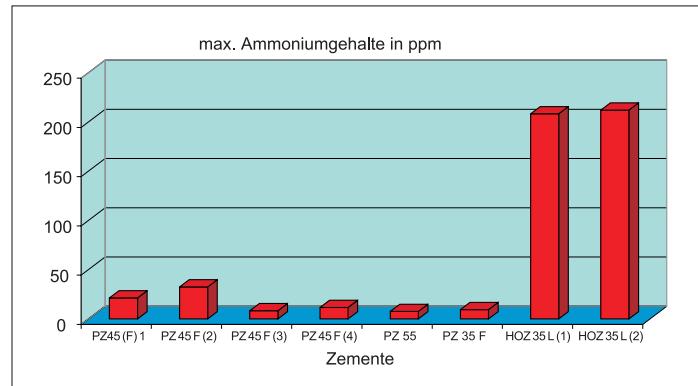
Insbesondere bei kleineren Rohrleitungen oder nach Reparaturen kann die aufwändige chemische Desinfektion durch den Einsatz des Spülverfahrens vermieden werden. Die Rohrleitung sollte dazu mit Trinkwasser bei einer Durchflussrate von 2 bis 3 m/s durchspült werden. Die Spülwassermenge sollte etwa das 3- bis 5fache des Leitungsvolumens betragen. Dieses Verfahren eignet sich auch zur Vorreinigung, bevor die Leitung mit desinfektionsmittelhaltigem Wasser gefüllt wird. Nicht selten sind Keime in größeren Verunreinigungen eingeschlossen, so dass diese mit dem Desinfektionsmittel gar nicht erst in wirksamer Berührung kommen. In diesen Fällen hat sich der Einsatz einer kombinierten Luft/Wasserspülung bewährt. Größere Verunreinigungen können auch durch das Molchen der Leitung gelöst werden. Über das Spülen mit Trinkwasser hinaus verweist das DVGW-Arbeitsblatt W 291 je nach Verunreinigung auch auf Reinigungsmittelzusätze, die nach DVGW-Arbeitsblatt W 319 zu gelassen sein sollten.

### **Das statische Verfahren**

Unter Einsatz von Desinfektionsmitteln wird in der Regel das statische Verfahren gewählt, d.h. die Leitung wird mindestens 12 Stunden mit desinfektionsmittelhaltigem Wasser gefüllt. Nach 12 Stunden sollte im Wasser noch Desinfektionsmittel nachweis-

**Bild 2:** Bestimmung der Ammoniumgehalte verschiedener Zementsorten [7] (Ionenchromatographie/Leitfähigkeitsdetektion)

**Fig. 2:** Ammonia content of different kinds of cement [12] (Ion chromatographic analysis/conductivity detection)



bar sein. Es empfiehlt sich, dieses Verfahren in Kombination mit der Druckprüfung einer Leitung anzuwenden.

### **Das dynamische Verfahren**

Das dynamische Verfahren wird häufig bei größeren Rohrnennenweiten eingesetzt. Die Leitung wird dabei mit dem 2- bis 3fachen ihres Volumens unter Kontrolle des Desinfektionsmittels gespült.

**Tabelle 1** informiert über die gebräuchlichsten Desinfektionsmittel, die erforderlichen Konzentrationen und die jeweils erforderlichen Maßnahmen für die Entsorgung der Lösungen nach Abschluss der Desinfektion [3].

Bei der Desinfektion zementmörtelauskleideter Rohre ist zu beachten, dass die Chlorzehrung je nach Zementart unterschiedlich sein kann. Bereits 1984 wurde von Hohoff, Radtke, Schwenk und Wolf berichtet, dass die Chlorzehrung einer Auskleidung auf Hochofenzementbasis (HOZ) um das 10fache größer ist als im Falle einer Portlandzementmörtelauskleidung (PZ). Die Auskleidung auf Tonerdeschmelzzementbasis (TEZ) nimmt hier eine Mittelstellung ein (**Bild 1**) [4].

Da unabhängig vom Rohrwerkstoff bzw. der eingesetzten Zementbasis einer Auskleidung die Desinfektionsmittelkonzentrationen im DVGW-Arbeitsblatt W 291 festgelegt sind, ist bei einem Wechsel der Zementbasis einer Auskleidung diese unterschiedliche Chlorzehrung zu beachten. Dies gilt insbesondere bei einem Wechsel von Hochofenzement auf Portlandzement. Trotz der niedrigeren Chlorzehrung des Portlandzementes wird meist die üblicherweise eingesetzte Ausgangskonzentration an Desinfektionsmittel beibehalten. Nach Abschluss der Desinfektion ist dann jedoch der höhere Restchlorgehalt bei der Entsorgung zu beachten.

Einer der Gründe für die unterschiedliche Chlorzehrung ist offensichtlich in den unterschiedlichen Ammoniumgehalten der eingesetzten Zemente zu sehen. So berichtete Wendland 1988 erstmals über die mögliche Bildung von Chloraminen, die den wirksa-

men Anteil der eingesetzten Chlorkonzentration reduzieren und damit als mögliche Ursache für die Wiederverkeimung von Rohrleitungen in Frage kommt [5]. Auch in Österreich wurden Probleme bei der Desinfektion mit hohen Ammoniumgehalten der Zemente in Verbindung gebracht. Bolzer berichtete über entsprechende Fälle in der Wiener Wasserversorgung Ende der 80er, Anfang der 90er Jahre [6].

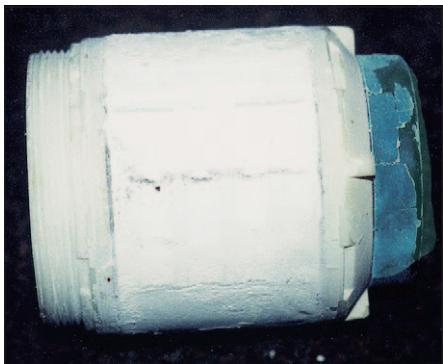
Maurer und Bruins veröffentlichten in diesem Zusammenhang Ergebnisse von Untersuchungen zur Bestimmung der Ammoniumgehalte verschiedener Zementarten. Im Vergleich zum Portlandzement wurde bei Hochofenzementen das 10fache an Ammoniumgehalten nachgewiesen (**Bild 2**) [7]. Aus diesem Grunde sind nicht nur in Österreich heute vielfach Auskleidungen auf Portlandzementbasis generell vorgeschrieben.

Das Ergebnis der Desinfektion kann durch eine weitere Besonderheit der Zementmörtelauskleidung beeinflusst werden. Die Wirksamkeit des häufig zur Desinfektion eingesetzten Chlors ist in erheblichem Maße abhängig vom pH-Wert und nimmt mit zunehmender Alkalität des Wassers ab. Zementmörtelauskleidete Rohre können den pH-Wert bei erstmaliger Befüllung insbesondere unter Stagnationsbedingungen deutlich anheben. Als günstig hat sich der Einsatz von Chlordioxid erwiesen. Die Wirksamkeit des Chlordioxids ist über einen weiten pH-Bereich sichergestellt [8].

Die Fragestellung einer alkalischen Reaktion des Mörtels ist jedoch nicht nur auf die Desinfektion begrenzt, sondern stellt ein sehr vielschichtiges Phänomen während der Inbetriebnahme einer zementmörtelauskleideten Rohrleitung dar und soll im folgenden Abschnitt näher betrachtet werden.

### **Alkalität der Zementmörtelauskleidung**

Während die Alkalität einer Zementmörtelauskleidung unter korrosionschemischen Gesichtspunkten für die Passivierung des Grundmaterials von elementarer Bedeutung



**Bild 3:** Filter mit Rückstand

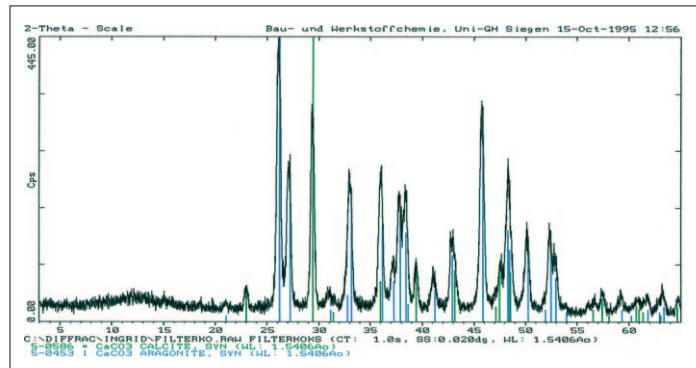
**Fig. 3:** Installation filter with sediments

und damit gewünscht ist, sind in diesem Zusammenhang aus hygienischer Sicht bei der Inbetriebnahme je nach Wasserbeschaffenheit und Betriebsbedingungen einige Besonderheiten zu berücksichtigen.

Bereits 1933 wurde auf einem Symposium in den Vereinigten Staaten über die Zunahme der Calciumkonzentration und die Alkalität des Wassers während der Inbetriebnahme zementmörtelauskleideter Rohre berichtet [9]. So war bereits damals bekannt, dass diese Effekte vom Alter der Zementmörtelauskleidung, vom Rohrdurchmesser und damit vom Oberflächen/Volumenverhältnis, von den Durchflussraten und der eingesetzten Wasserqualität abhängen. Als Lösungsmöglichkeit wurde der Einsatz einer Kombination von Zementmörtelauskleidung und organischer Beschichtung erworben, eine Verfahrensweise, die heute in Großbritannien aufgrund der, je nach regionalen Gegebenheiten, äußerst weichen Wässer und fehlenden Trinkwasseraufbereitung verstärkt praktiziert wird. Dazu werden poröse organische Beschichtungen auf Epoxid- oder Bitumenbasis auf die Zementmörtelauskleidungen appliziert, um Wechselwirkungen

**Bild 4:** Röntgenspektralanalyse des Filterrückstandes

**Fig. 4:** X-ray spectral analysis



des Mörtels mit dem geförderten Trinkwasser zu unterbinden.

Nachdem ab Mitte der 60er Jahre auch in Deutschland verstärkt Zementmörtelauskleidungen zum Einsatz kamen, wurde zwangsläufig über ähnliche Erfahrungen berichtet. So wurden beispielsweise im Falle weicher Wässer während und nach der Inbetriebnahme hohe pH-Werte beobachtet, die zum Teil auch Größenordnungen jenseits des durch die Trinkwasserverordnung festgelegten Grenzwertes von pH 9,5 annehmen konnten [10]. Die Ursachen liegen bekanntlich in den kalklösenden Eigenschaften solcher Wässer, die eine Carbonatisierung der Zementmörteloberfläche unterbinden. Diese carbonatisierte Deckschicht der Zementmörtelauskleidung verhindert ähnlich einer Passivschicht von Metallen die Wechselwirkung von Werkstoff und Medium und damit das Lösen alkalischer Komponenten des Mörtels im geförderten Trinkwasser.

In diesem Zusammenhang berichteten Künzler und Schwenk 1986 über Ergebnisse von Auslagerungsversuchen an Mörtelprismen in unterschiedlich harten Wässern. Die Prismen wurden dazu an einem Nylonfaden hängend, vollständig in leicht gerührte Versuchswässer eingetaucht. Nach jeweils 3,5 Tagen wurde der pH-Wert gemessen und das Wasser erneuert. Mit zunehmender Wasserhärte verringerte sich die Zahl der erforderli-

chen Wasserwechsel zur Einhaltung des nach Trinkwasserverordnung geforderten maximalen pH-Wertes von 9,5 [10]. Auch hier zeigt sich, dass die Frage einer pH-Wert-Erhöhung maßgeblich von der vorliegenden Wasserbeschaffenheit und den Betriebsbedingungen abhängt. pH-Wert-Erhöhungen sind speziell in schwach gepufferten weichen Wässern bei unzureichendem Durchfluss zu beobachten.

Die Fragestellung eines unzureichenden Durchflusses gewinnt mit Abnahme der Leckraten in den Rohrleitungssystemen und mit abnehmendem Wasserverbrauch je nach Leitungsführung immer mehr an Bedeutung. Nach DIN EN 805 sind Stagnationsbedingungen in den Rohrleitungen mit Blick auf Verkeimungen und Eintrübungen generell zu vermeiden. Das DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 fordert bereits nach einem dreitägigen Stillstand ein Spülen der Leitungsabschnitte und ggf. sogar eine Desinfektion. Generell ist die Erfordernis für das Spülen von Leitungen im Falle von Endsträngen, bei Ringleitungen z.B. in Industriegebieten, in Neubaugebieten oder im Falle zu groß dimensionierter Leitungen zu prüfen und ggf. auf der Basis von Betriebserfahrungen vorzunehmen. Zu groß dimensionierte Leitungen sind häufig dort anzutreffen, wo eine entsprechend groß zu dimensionierende Löschwasserversorgung auf eine zu geringe Zahl von Wasserverbrauchern trifft. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch die DIN 1988-6 „Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (TRWI) – Feuerlöschanlagen und Brandschutzanlagen“ auf diese Fragestellung hinweist.

Speziell im Fall neuverlegter Rohrleitungen mit Zementmörtelauskleidung können sich derart unzulässige Stagnationsbedingungen oder geringe Durchflussraten durch einen Anstieg der pH-Werte bemerkbar machen. Die Alkalisierung des Wassers beim ersten Kontakt mit der Zementmörtelauskleidung, ist auf das Lösen des im Zement als Hauptbestandteil vorliegenden Calciumoxids, aber insbesondere auch auf die Nebenbestandteile, Natrium-, und Kaliumoxid zurückzuführen. Aus den Oxiden entstehen in Gegenwart von Wasser Hydroxide, die mit



**Bild 5:** Versuchstand zur Untersuchung der Wechselwirkungen von Zementmörtelauskleidung und Trinkwasser [11]

**Fig. 5:** Test bay for the evaluation of interactions between cement mortar linings and drinking water [15]

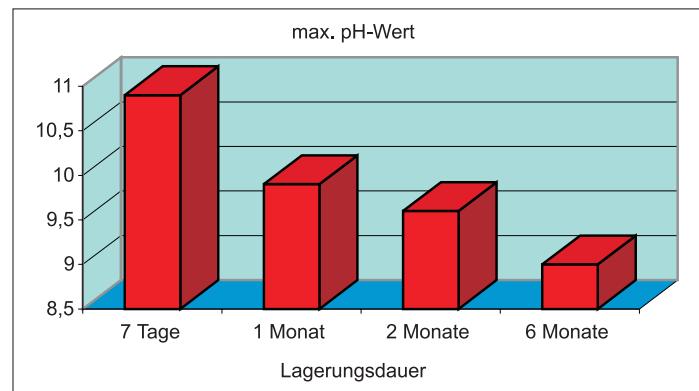
dem im Wasser gelösten CO<sub>2</sub> unter Bildung von Hydrogencarbonaten oder durch weitere Reaktion von Hydrogencarbonat zum Carbonat umgesetzt werden. Insbesondere die Bildung von Calciumcarbonat kann sowohl auf der Mörteloberfläche unter Ausbildung der Carbonatdeckschichten, als auch im Medium selbst erfolgen.

Auch auf die Bildung von kristallinen „Calciumcarbonat-Nebeln“ wurde während des bereits erwähnten Symposiums über Betriebserfahrungen mit Zementmörtelauskleidungen 1933 in den Vereinigten Staaten hingewiesen und lässt sich mit weiteren Beispielen aus der Praxis ergänzen [9]. So wurde beispielsweise kurze Zeit nach der Inbetriebnahme einer Trinkwasserleitung vom Endverbraucher der permanente Ausfall seines Filteranlage in der Hausinstallation beim Wasserversorgungsunternehmen bemängelt. Der Filter musste mehrfach gegen gespült und letztlich sogar ausgetauscht werden. Der Filterrückstand (**Bild 3**) ließ anfänglich vermuten, dass Feinanteile aus der Zementmörtelauskleidung für das Filterversagen verantwortlich waren. Mit Hilfe der Röntgenspektralanalyse konnte jedoch nachgewiesen werden, dass im Filter reine Calcitkristalle (**Bild 4**) vorlagen, die auf eine bereits erwähnte Reaktion der Hydrogencarbonate mit dem aus dem noch jungen Zementmörtel herausgelösten Calciumhydroxid zurückzuführen war.

Derartige Effekte sind heute insbesondere in Neubaugebieten zu beachten. Bei der Neuerschließung werden üblicherweise zuerst die Rohrleitungen verlegt. Die Wasserleitungen werden geprüft, desinfiziert und anschließend gefüllt, sich selbst überlassen. Es folgte mit einigem zeitlichen Abstand der Bau der Häuser, die bis vor einigen Jahren in der Regel Stein auf Stein gebaut wurden. Dazu mussten nicht unbeträchtliche Mengen an Wasser beispielsweise zur Herstellung von Beton oder Mörtel aus den bereits vorhandenen Rohrleitungen entnommen werden. Heute werden in verstärktem Maße Fertighäuser innerhalb weniger Arbeitsstunden fertig gestellt, eine Bauweise die keiner Was-

**Bild 6:** Abhängigkeit der pH-Wert-Maxima von der Lagerungsdauer der Rohre (Bed.: siehe Tabelle 2) [12]

**Fig. 6:** Dependence of the maximum ph-value on the age of pipes (Test conditions see tab. 2)



serentnahme bedarf. Wenn vor dem Anschluss der Hausinstallation die Versorgungsleitungen nicht sorgfältig gespült werden, können Alkalität oder Kalkfällungen unnötigen Ärger bereiten.

Über einen weiteren heute wichtigen Aspekt der Praxis berichtete Völkel 1993 [11]. Völkel untersuchte die Wechselwirkungen von Mörtelauskleidung und Trinkwasser in einem Versuchsstand, der den Einsatz 1 m langer zementmörtelausgekleideter Rohrsegmente DN 100 erlaubt. Das Wasser im Versuchsstand wird im Kreislauf geführt (**Bild 5**).

pH-Wert, Leitfähigkeit und Temperatur werden kontinuierlich überwacht und aufgezeichnet. Über die damals gewählten Versuchsbedingungen informiert **Tabelle 2**. Das Rohrsegment wurde mit einem Durchfluss von 400 l/min durchspült, die Wassertemperatur betrug 10 °C. Die maximale Versuchsdauer lag bei sieben Tagen, wobei in den ersten 24 Stunden ein pH-Wert-Maximum durchlaufen wird. Für die Auswertung der Ergebnisse ist der höchste jeweils gemessene pH-Wert berücksichtigt. In diesen Untersuchungen wurden zementmörtelausgekleidete Rohrsegmente mit unterschiedlicher Lagerungsdauer eingesetzt.

Es zeigte sich, dass mit zunehmender Lagerungsdauer der Auskleidung die ermittelten pH-Werte abnehmen (**Bild 6**). Nach einer Lagerungsdauer von sechs Monaten wurde der nach TrinkwV zulässige Grenzwert von pH 9,5 im Versuchsstand nicht mehr überschritten [12].

Die Frage der Alterung einer Zementmörtelauskleidung steht in direktem Zusammenhang mit der bereits beschriebenen Bildung einer, die Mörteloberfläche „versiegelnden“ Carbonatdeckschicht. Diese Carbonatdeckschichten bilden sich offensichtlich nicht nur in Kontakt mit dem geförderten Trinkwasser, sondern auch durch Reaktion mit dem CO<sub>2</sub> der Luft.

Diese Ergebnisse geben einen weiteren Hinweis auf die Ursache der zunehmenden Bedeutung dieser Fragestellungen. In immer stärkerem Maße werden heute Rohre pro-

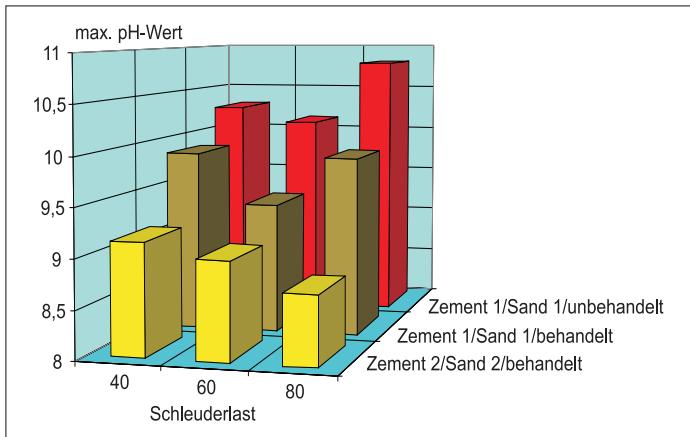
jeektbezogen mit Lieferanschrift „Baustelle“ beim Rohrhersteller angefordert. Durch die Vermeidung von Zwischenlagern werden dadurch beim Versorgungsunternehmen deutliche Kosteneinsparungen durchgesetzt. Mit dem gleichen Ziel versucht der Rohrhersteller Fertigungs- und Liefertermine aufeinander abzustimmen. Dies hat zur Konsequenz, dass die im Produktionsablauf zuletzt gefertigte Zementmörtelauskleidung bei der Ankunft an der Baustelle nicht selten erst wenige Tage alt und kurze Zeit später verlegt ist. Die Zementmörtelauskleidung hat keine Möglichkeit zu altern. Anfängliche pH-Wert-Erhöhungen sind unter solchen Bedingungen selbst bei sonst unkritischen Wässern denkbar. Auch wenn diese pH-Wert-Erhöhung je nach Wasserqualität überwiegend kurzfristiger Natur ist, wird nach Verfahren gesucht, solche Wechselwirkungen zwischen Zementmörtelauskleidung und Trinkwasser während der Inbetriebnahme zu minimieren.

Unter Einsatz des bereits beschriebenen Versuchsstandes wurde dazu ein Verfahren entwickelt, dass speziell für solche Zementmörtelauskleidungen geeignet ist, die im Anschleuderverfahren unter Ausbildung eines weitgehend homogenen Mörtelgefüges mit definiert dünnen Schichten aus Feinanteilen hergestellt werden. Bei der Auskleidung bilden sich diese Feinanteilschichten durch eine partielle Trennung von groben und feinen Bestandteilen des Mörtels durch die auftretenden Fliehkräfte bei der Rotation der Rohre. Diese Feinanteilschichten bestehen primär aus Zement, der für die alkalische Reaktion verantwortlich ist. Durch kontrolliertes Strahlen der ausgehärteten Auskleidungssoberfläche wird diese etwa 200 bis 400 µm dicke Zementschicht weitgehend entfernt, die darunter befindliche, mit Sandkorn angereicherte Schicht freigelegt und damit die aktive Oberfläche drastisch reduziert. Die Rotationsgeschwindigkeit (Schleuderlast) bei der Herstellung der Auskleidung, die Sieblinie des Sandes und die Intensität des Strahlprozesses müssen dazu zwangsläufig aufeinander abgestimmt sein. Auch

**Tab. 2:** Versuchsbedingungen und Wasserparameter bei der Untersuchung der Wechselwirkungen von Trinkwasser und Auskleidung

**Table 2:** Testing conditions for the examination of interactions between lining and drinking water

Versuchsbedingungen	Wasserparameter
Durchfluss: 400 l/min	pH (20 °C): 8,4
Temperatur: 10 °C	K <sub>S(4,3)</sub> : 1,5 mmol/l
Rohrdimension: DN 100	Ca: 35 mg/l
Oberflächen/Volumenverhältnis: 2,5	
Zement: Portlandzement	



**Bild 7:** Einfluss von Verfahrensparametern, Einsatzmaterialien und Vorbehandlung der Auskleidung auf die pH-Werte bei Kontakt mit Trinkwasser (Bed.: siehe Tabelle 2, Alter der Auskleidung 28 Tage)

**Fig. 7:** Influence of process parameters, materials and pretreatment of the cement mortar lining on the maximum pH-values in contact with drinking water (Test conditions see tab. 2, age of the lining 28 days)

ist, günstig beeinflusst werden. Unter Berücksichtigung der in DIN 2614 bzw. DIN 2880 festgelegten Grenzwerte ist langfristig betrachtet unter hygienischen und korrosionschemischen Gesichtspunkten der Transport und die Verteilung einer einwandfreier Trinkwasserqualität sichergestellt. Auf europäischer Ebene werden derzeit Regelwerke erarbeitet, die hygienische Anforderungen an die Produkte für die Trinkwasserversorgung und deren Einsatzmaterialien festlegen. Bis zur endgültigen Verabschiedung dieser Normen und Richtlinien gelten in Europa jeweils die nationalen Bestimmungen.

## Literatur

- [1] Kocks, H.-J.; Siedlarek, W.: Zementmörtelauskleidungen von Rohren aus Eisenwerkstoffen – Teil 1: Physikalische und korrosionschemische Aspekte; 3R international 43 (2004), S. 583 – 589
- [2] Nissing, W.: Novelle der Trinkwasserverordnung: Folgerungen für Werkstoffe für die öffentliche Wasserversorgung – Teil VIII; bbr 53 (2002), S. 33 – 40
- [3] Schiffmann, L.: Desinfektion von Wasserrohrleitungen; bbr 48 (1997) Nr. 12, S. 23 – 28
- [4] Hohoff, A.; Radtke, E.; Schwenk, W.; Wolf, W.: Das Verhalten von Zementmörtelproben für die Auskleidung von Trinkwasserrohren hinsichtlich Chlorzehrung; gwf-wasser/abwasser 125 (1984) Nr. 2, S. 57 – 65
- [5] Wendland, E.: Ammonium/Ammoniak als Ursache von Wiederverkeimungen in Trinkwasserleitungen; gwf-wasser/abwasser 129 (1988) 567 – 571
- [6] Bolzer, E.: Trinkwasserrohre aus zementgebundenen Werkstoffen; aktuell (1998) Nr. 4a, S. 13 – 16
- [7] Bruins, J.; Maurer, W.: Zur Bestimmung des nicht fixierten Ammoniums in Zement und Zementmörtel für die Innenauskleidung von Trinkwasserrohren; Zement-Kalk-Gips 42 (1989) 464 – 467
- [8] Schrott, J.: Einsatz von Chlordioxid-Anlagen zur Trinkwasserdesinfektion; Energie Wasser Praxis (1999), S. 428 – 433
- [9] Wood, L.P.: Symposium on cement lined water mains; J. Am. Water Works Assoc, 25 (1933) 1728 – 1780
- [10] Künzler, R.; Schwenk, W.: Änderung der Wasserparameter bei Kontakt von Trinkwasser mit frischem Zementmörtel, gwf-wasser/abwasser 127 (1986) Nr. 1, S. 11 – 15
- [11] Völkel, M.: Untersuchungen zur Beeinflussung der Trinkwasserqualität bei Verwendung zementmörtelauskleideter Versorgungsrohre; Dissertation, RWTH Aachen, 1993
- [12] Völkel, M.; Blachnik, B.; Maurer, W.; Reichert, J.K.: Entwicklung eines Prüfstandes zur Simulation des Einflusses von Rohrmaterialien auf die Trinkwasserqualität; gwf-wasser/abwasser 136 (1995) Nr. 4
- [13] Patent DE 197 47 100 A1 Röhrenwerk Gebr. Fuchs GmbH, 1999
- [14] Patent DE 196 104 03 Thyssen Guss AG, 1996
- [15] Patent DE 195 24 761 C1 Buderus Guss GmbH, 1995
- [16] Nissing, W.; Klein, N.: pH-Wert-Erhöhung bei der Inbetriebnahme von Guss- und Stahlrohrleitungen mit Zementmörtel-Auskleidungen; bbr 47 (1996) Nr. 2, S. 26 – 31

die Zementbasis leistet unter Anwendung dieses Verfahrens zur Reduktion der Wechselwirkungen von Auskleidung und Trinkwasser einen Beitrag (**Bild 7**) [13].

So wie im Falle der hier beschriebenen Behandlung der Auskleidungsoberfläche existieren noch weitere Verfahren zur Herstellung poröser anorganischer Deckschichten durch die werkseitige Behandlung mit Phosphaten oder Kohlendioxid [14, 15]. Auf der Mörteloberfläche entstehen so dünne Schichten auf Calciumphosphat- oder Calciumcarbonatbasis die eine alkalische Reaktion der Auskleidung bei Kontakt mit Trinkwasser unterbinden sollen. Im Jahr 2000 wurde das DVGW-Arbeitsblatt W 346 (Guss- und Stahlleitungsteile mit ZM-Auskleidung) um den Anhang 1 erweitert, der über Baustellenmaßnahmen zur Reduktion der pH-Werte bei der Inbetriebnahme zementmörtelauskleideter Rohrleitungen informiert. In diesem Anhang werden zwei Verfahren beschrieben, die durch einen temporären Einsatz mit Natriumhydrogencarbonat angereicherter oder auch natürlicher harter Wässer bzw. durch den Einsatz von CO<sub>2</sub> unter Druck, eine Carbonatisierung der Oberfläche zu erzwingen [16]. Das gemeinsame Ziel aller dieser Verfahren ist letztlich die Reduzierung der aktiven Oberfläche der Auskleidung.

## Schlussbetrachtung

Im vorliegenden zweiten Teil des Beitrages über die Zementmörtelauskleidung von Rohren aus Eisenwerkstoffen wurden die hygienischen Besonderheiten diskutiert. Bauteile im Bereich der Trinkwasserversorgung dürfen nach §31 des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes keine Stoffe an das Trinkwasser abgeben. Ausgenommen sind gesundheitlich, geruchlich und geschmacklich unbedenkliche Anteile, die technisch unvermeidbar sind. Die Festlegungen in den Regelwerken dienen dazu diesen gesetzlichen Forderungen gerecht zu werden.

Die Regelwerke sind zwangsläufig geprägt von dem zum Zeitpunkt der Regelwerkerstellung allgemein gültigen 'Stand der Technik'. Ändern sich die Randbedingungen, müssen die Regelwerke produktseitig oder durch Maßnahmen während des späteren Betriebes angepasst werden.

So war die Frage der Alkalisierung des Wassers aufgrund der in Deutschland üblichen Trinkwasseraufbereitung lange Zeit eher eine Randerscheinung. In den letzten zehn Jahren nahm jedoch die Häufigkeit der Probleme im Zusammenhang mit hohen pH-Werten zu. Anfänglich betraf dies primär die neuen Bundesländer, da vielerorts noch die Trinkwasseraufbereitung fehlte. Es zeigte sich jedoch bald, dass auch die heute übliche Bereitstellung des Rohrmaterials an den Baustellen 'just in time' oder aber die in Neubaugebieten übliche Fertighausbauweise solche Effekte begünstigt. Als Lösungsmöglichkeiten bieten sich an:

- die Trinkwasseraufbereitung
- das Altern zementmörtelauskleideter Rohre durch eine entsprechende Lagerungsdauer
- die Vorbehandlung der Auskleidung beim Hersteller oder an der Baustelle.

Welche dieser Maßnahmen die optimale Lösung darstellt, ist im Einzelfall zu klären. Möglichkeiten zur Vorbehandlung der Rohre an der Baustelle sind inzwischen im Regelwerk aufgenommen worden.

Unabhängig von solchen Fragestellungen, die in den überwiegenden Fällen auf eine kurze Zeit während und nach der Inbetriebnahme begrenzt sind, ist die Zementmörtelauskleidung aus korrosionschemischen und hygienischen Erwägungen die optimale Lösung für den inneren Korrosionsschutz von Rohren aus Eisenwerkstoffen zum Transport und zur Verteilung von Trinkwasser. Durch eine gezielte Auswahl der Einsatzmaterialien können die Eigenschaften einer Zementmörtelauskleidung in Bezug auf Chlorzehrung, Ammoniumabgabe aber auch der Selbstheilung, wie dies beispielsweise im Falle des Portlandzementes nachgewiesen

## Normative Verweisungen

- DIN EN 805 „Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden“, (2000-03)
- DIN 1988-6, „Technische Regeln für Trinkwasseranlagen (TRWI) – Feuerlösch- und Brandschutzanlagen“, (1988-12)
- DIN 2000, „Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen“, (2000-10)
- DIN 2460 „Stahlrohre für Wasserleitungen“, (1992-01)
- DIN 2614, „Zementmörtelauskleidungen für Gussrohre, Stahlrohre und Formstücke“, (1990-02)
- DIN 2880, „Anwendung von Zementmörtelauskleidungen für Gussrohre, Stahlrohre und Formstücke“, (1999-01)
- prEN 14944-1, „Einfluss von zementgebundenen Produkten auf Wasser für den menschlichen Gebrauch – Prüfverfahren – Teil 1 Einfluss fabrikmäßig hergestellter zementgebundener Produkte auf organoleptische Parameter“, (2004-05)
- prEN 14944-3, „Einfluss von zementgebundenen Produkten auf Wasser für den menschlichen Gebrauch – Prüfverfahren – Teil 3 Migration von Substanzen aus fabrikmäßig hergestellten zementgebundenen Produkten“
- DVGW-Arbeitsblatt W 270, „Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung“, (1999-11)
- DVGW-Arbeitsblatt W 291, „Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen“, (2000-03)
- DVGW-Merkblatt W 319, „Reinigungsmittel für Trinkwasserbehälter; Einsatz, Prüfung und Beurteilung“, (1990-05)
- DVGW-Arbeitsblatt W 346, „Guss- und Stahlrohrleitungsteile mit ZM-Auskleidung, Handhabung“, (2000-08)
- DVGW-Arbeitsblatt W 347, „Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung“, (1999-10)
- DVGW-Arbeitsblatt W 400-1, „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 1: Planung“, (2004-10)
- DVGW-Arbeitsblatt W 400-2, „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 2: Bau und Prüfung“, (2003-03)
- DVGW-Arbeitsblatt W 400-3, „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 3: Betrieb und Instandhaltung“, (2004-08 (Entwurf))