

Zementmörtelauskleidungen von Trinkwasserleitungsrohren aus Guss und Stahl

H.-J. Kocks, W. Siedlarek

Sonderdruck 011

Zementmörtelauskleidungen von Trinkwasserleitungsrohren aus Guss und Stahl

H.-J. Kocks, W. Siedlarek

Der Einsatz von Zementmörtel als innerer Korrosionsschutz von Wasserleitungen aus Guss und Stahl ist seit mehr als 100 Jahren bekannt. Die Kombination dieser beiden Werkstoffe hat sich unter physikalischen bzw. mechanischen Gesichtspunkten, aber auch aus korrosionschemischer Sicht nicht nur im Rohrleitungsbau sondern auch im Hochbau als perfekte Paarung erwiesen. Dieser Beitrag gibt einen Überblick der in der Praxis häufig diskutierten Fragestellungen rund um die Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen einer Zementmörtelauskleidung im Trinkwasserbereich.

1. Einleitung

Die Kombination von Stahl und Eisen mit zementgebundenen Werkstoffen hat sich sowohl im Bauwesen als auch im Rohrleitungsbau bestens bewährt. Die fehlende Zugfestigkeit des Betons, die normalerweise nur etwa ein Zehntel der Druckfestigkeit beträgt, wird im Bauwesen häufig vom Stahl übernommen. Konstruktionstechnisch von Bedeutung sind die bei Stahl und zementgebundene Werkstoffen etwa gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Auch aus korrosionsschutztechnischer Sicht stellt diese Werkstoffkombination eine optimale Lösung dar. Die korrosionsschützende Wirkung einer Beton- oder Mörtelmatrix in Bezug auf eingelagerte Konstruktionselemente aus Eisenwerkstoffen beruht im Wesentlichen auf das alkalische Porenmedium. Die Alkalität des Porenmediums ist auf das Calciumoxid als Hauptbestandteil des Zementes, aber insbesondere auch auf die Nebenbestandteile, den Alkalioxiden Natrium- und Kaliumoxid zurückzuführen. Der hohe pH-Wert innerhalb der Beton- oder Mörtelmatrix begünstigt die Passivierung der vom Zementmörtel umgebenen Eisenwerkstoffe.

Speziell diese korrosionsschützende Wirkung wird auch in der Kombination einer Zementmörtelauskleidung mit Guss- und Stahlrohren genutzt. Dabei ergeben sich jedoch grundlegende Unterschiede für den Anwendungsbereich einer Kombination von Stahl und Beton im Bauwesen und der Zementmörtelauskleidung von Guss- und Stahlrohrleitungen. Im Bauwesen sind wechselnde Beanspruchungen durch Nass- und Trockenphasen zu berücksichtigen, die sich in den geforderten Mindestüberdeckungen des Betons nach DIN 1045 (Beton und Stahlbeton) beim Monieren widerspiegeln.

Dieser schwankende Gehalt an Feuchtigkeit begünstigt den Stofftransport in die poröse Mörtel- oder Betonmatrix. Hier ist insbesondere das CO₂ der Luft mit seiner für das Porenmedium neutralisierenden Wirkung zu berücksichtigen, aber auch korrosionsfördernde Komponenten wie Chloride oder der Sauerstoff als korrosionsrelevanter Partner für die im Beton oder Mörtel gebetteten Eisenwerkstoffe. Bei zu geringer Überdeckung heben lokal unterschiedliche Carbonatisierungsgrade im Bereich der eingelagerten Konstruktionselemente aus Eisen den passivierenden Schutz durch das alkalische Porenmedium auf und führen zur Korrosion, die sich durch Abplatzungen aufgrund der sich bildenden voluminösen Eisenkorrosionsprodukte bemerkbar macht (Abb. 1).



Abb. 1: Schädigung des Werkstoffverbundes aus Stahl und Beton aufgrund zu geringer Überdeckungen

Eine permanent feuchte Mörtelmatrix, wie sie in zementmörtel ausgekleideten Rohrleitungen für den Transport wässriger Medien zwangsläufig vorliegt, führt zu einer erheblichen Reduzierung solcher Transportvorgänge /1/2/. Die für einen wirkungsvollen Korrosionsschutz erforderlichen Schichtdicken einer Zementmörtelauskleidung sind daher deutlich geringer.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied in der Kombination von Beton und Stahl im Bauwesen und den Zementmörtelauskleidungen von Guss- und Stahlleitungsrohren ergibt sich unter statischen Erwägungen. Bei Bauwerken sind Risse unter statischen Gesichtspunkten besonderer Aufmerksamkeit zu widmen und i.d.R. unzulässig. Im Falle zementmörtelausgekleideter Rohre wird die Statik vollständig vom Eisengrundwerkstoff übernommen. Der Gewölbeeffekt eines Rohres stützt die Mörtelauskleidung auch im gerissenen Zustand. Bei den Rissen einer Zementmörtelauskleidung von Guss- und Stahlrohren handelt es sich in der Regel um Schwindrisse, die insbesondere bei der Lagerung unter starker Sonneneinstrahlung durch das Austrocknen des Mörtels auftreten können. Bei Kontakt der Mörtelauskleidung mit wässrigen Medien schließen sich diese Risse durch das Quellen des Mörtels oder durch die Reaktion des Calciumoxids aus der Mörtelmatrix mit dem im Wasser gelösten Kohlendioxid unter Bildung von Calciumcarbonat. Aus diesem Grunde spricht man im Falle der Zementmörtelauskleidung von einem aktiven Schutzsystem. Passive Schutzsysteme wie organische Beschichtungen können im Falle einer Rissbildung dem Grundwerkstoff keinen Schutz mehr bieten.

Zementmörtelauskleidungen von Guss- und Stahlleitungen haben sich bereits seit mehr als 100 Jahren bewährt. Ausschlaggebend für den Erfolg dieses Korrosionsschutzsystems war primär die Vermeidung von Inkrustationen, die bei innen ungeschützten oder aber mit Bitumen oder Teerpech beschichteten Rohren je nach geförderter Wasserqualität im Laufe der Betriebsjahre unvermeidbar waren /3/. Solche Inkrustationen führten zur Reduzierung der Rohrquerschnitte und erforderten zum Erhalt der Durchflussmengen immer größerer Pumpleistungen (Abb. 2).



Abb. 2: Inkrustationen auf ungeschützten Rohrrinnenflächen

Die Nachteile unbeschichteter aber auch beschichteter Rohre werden heute offensichtlich angesichts der immer wieder auftretenden Diskussionen rund um die organischen Beschichtung als Alternative zur Zementmörtelauskleidung verdrängt. Aufgrund der, in Bereichen mit unzureichender Schichtdicke oder Poren möglichen Diffusion korrosiv wirkender Komponenten wie der Chloride und insbesondere des für die Korrosion in wässrigen Medien erforderlichen Sauerstoffs, können organische Beschichtungen eine Zementmörtelauskleidung kaum ersetzen. Unter Einfluss von Temperaturdifferenzen ist die Möglichkeit der Permeation von Wasserdampf in die Beschichtungen und die daraus resultierende Blasenbildung zu berücksichtigen. Je nach Durchfluss und auftretenden Druckschwankungen öffnen sich diese Blasen. Das freiliegende Grundmaterial bietet dann ggf. die Angriffsfläche für Korrosion und Inkrustationen. Die Herstellung beständiger Beschichtungen erfordert eine aufwändige Oberflächenvorbereitung, den Einsatz hochwertiger Kunstharze und eine sorgfältig Schichtdickenkon-

Dr. Hans-Jürgen Kocks, Röhrenwerk Gebr. Fuchs GmbH, Siegen
Werner Siedlarek, Fachhochschule Südwestfalen, Labor für Korrosionsschutztechnik, Iserlohn

trolle. Im Bereich der nicht begehbarsten Rohrdimensionen ist eine Nachbearbeitung der Schweißnähte von Stahlrohren nur mit großem Aufwand möglich /4/5/.

Im Gegensatz zu den Beschichtungen ist eindringende Feuchtigkeit für eine Zementmörtelauskleidung ohne jede Bedeutung. Im feuchten Zustand erfüllt die Zementmörtelauskleidung die gleiche passive Barrierewirkung, wie eine organische Beschichtung. Die aktive Schutzwirkung der Zementmörtelauskleidung gewinnt bei Rissbildungen oder aber im Falle der Spalten im Verbindungsbecken stumpfgeschweißter Stahlrohre an Bedeutung. Hinzu kommen die guten hygienischen Eigenschaften der Zementmörtelauskleidungen während des Betriebes. Aufgrund dieser Vorteile fordert die DIN 2460 „Stahlrohre für Wasserleitungen“ für den Einsatz im Trinkwasserbereich: „Rohre für Trinkwasser sind mit Zementmörtel auszukleiden“.

2. Historischer Rückblick

Der Einsatz von Zementmörtel als Korrosionsschutz in Wasserleitungsrohren aus Eisenwerkstoffen wurde erstmalig in einer Publikation der französischen Akademie der Wissenschaften im Jahr 1836 beschrieben. Unter den verschiedenen dabei betrachteten Verfahren für den Innenschutz dieser Rohre wurde eine mind. 2,5 mm dicke Zementmörtelschicht als besonders wirtschaftliche Lösung dargestellt, die eine gute Handhabung und Schutz gegen Korrosionen und damit Inkrustationen gewährleistet. Es ist nicht auszuschließen, dass aufgrund dieser Publikation nur wenige Jahre später die ersten Zementmörtelauskleidungen in den Vereinigten Staaten zum Einsatz kamen. So wurde bereits 1845 die Verlegung zementmörtelausgekleideter Rohre in Jersey City, New Jersey dokumentiert. In den Vorschriften der Stadt Brooklyn des Staates New York, wird die Zementmörtelauskleidung 1859 erwähnt /6/.

Die frühen Verfahren zur Auskleidung von Rohren bereiteten noch außerordentliche Probleme. So wurden beispielsweise so genannte Durchziehverfahren entwickelt, um Zementmörtelauskleidungen mit Hilfe eines Dorns zu applizieren. Die Schichtdicke der Zementmörtelauskleidung unterlagen hierbei jedoch bei schlechter Zentrierung großen Schwankungen. Große Rohre wurden zur Auskleidung eingeschalt, wie dies beispielsweise im Fall einer 10 km langen New Yorker Wasserleitung mit Durchmessern von 2,9 und 3,4 m praktiziert wurde.

Aufgrund der guten Erfahrungen im ersten Bauabschnitt dieser Leitung, der in den Jahren von 1910 bis 1913 fertiggestellt wurde, folgte auch die Vollendung der Leitung in den Jahren von 1922 bis 1924 mit dieser Rohrausführung. Die Schichtdicke dieser mit Hilfe von Schalungen hergestellten Zementmörtelauskleidung lag im Bereich von 50 mm/6/.

Die heute noch üblichen Schleuderverfahren wurden um 1920 entwickelt. Die Rohre werden nach dem Einbringen des Zementmörtels in Rotation versetzt, um glatte und gleichmäßig dicke Auskleidungen zu erzielen.

Prinzipiell sind zwei Verfahren zur Auskleidung der Rohre zu unterscheiden:

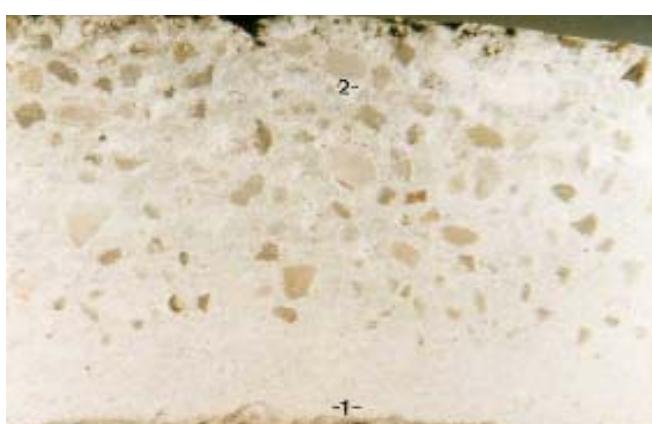


Abb. 3: Zementmörtelauskleidung nach Verfahren I

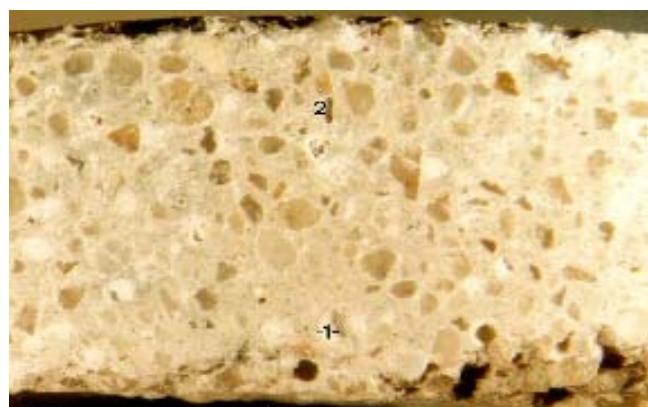


Abb. 4: Zementmörtelauskleidung nach Verfahren II

Beim Rotationsschleuderverfahren wird ein wasserreicher Mörtel in das Rohr eingebracht und anschließend durch Rotation über den Rohrumfang verteilt, verdichtet und geglättet. Bei diesem Verfahren wird überschüssiges Wasser ausgetrieben. Zementmörtelauskleidungen nach diesem Verfahren zeichnen sich durch die Bildung einer deutlichen Schicht aus Feinanteilen aus, die im Wesentlichen aus Zement besteht (Abb. 3).

Beim Anschleuderverfahren wird der Mörtel in einem ersten Arbeitsgang an die Innenfläche des Rohres angeworfen. In einem zweiten Arbeitsgang folgt das Glätten und Verdichten des Mörtels durch die Rotation des Rohres. Je nach Rotationsgeschwindigkeit und Ausgangswassergehalt können dabei Auskleidungen mit homogener Kornverteilung hergestellt werden (Abb. 4).

Über die Erfahrungen mit Zementmörtelauskleidungen wurde 1933 auf einem Symposium in den Vereinigten Staaten ausführlich berichtet /3/. Im Vordergrund standen dabei die guten Ergebnisse in Bezug auf die Vermeidung von Inkrustationen. Dabei wurde zum Teil über Rohrleitungen berichtet, die bereits 50 Jahre ohne Beeinträchtigungen betrieben wurden. Ausgehend von diesen Erfahrungen wurde 1941 die erste Auflage der AWWA C 205 (Cement-Mortar Protective Lining and Coating for Steel Water Pipe) publiziert. In Deutschland erschien 1978 das DVGW Arbeitsblatt W 342 (Werksseitig hergestellte Zementmörtelauskleidungen für Guss- und Stahlrohre) nachdem erst ab Mitte der 60er Jahre Zementmörtelauskleidungen hier zu Lande verstärkt zum Einsatz kamen. Dieses Arbeitsblatt wurde 1986 durch das DVGW Arbeitsblatt W 344 (Zementmörtelauskleidungen von erdverlegten Guss- und Stahlrohrleitungen) für die Herstellung von Zementmörtelauskleidungen an den Baustellen ergänzt. 1990 wurden diese DVGW-Arbeitsblätter in die heute noch gültige DIN 2614 (Zementmörtelauskleidungen für Gussrohre, Stahlrohre und Formstücke) überführt /7/.

Im Zuge der europäischen Normung ließen die ersten Entwürfe der DIN EN 10298 (Steel tubes and fittings for on shore and offshore pipelines – Internal lining with cement mortar) erwarten, dass der nicht unbeträchtliche informative Teil der DIN 2614 im Falle eines Ersatzes durch die DIN EN 10298 verloren geht. Aus diesem Grunde wurde mit Erscheinungsjahr 1999 die DIN 2880 (Anwendungen von Zementmörtelauskleidungen für Gussrohre, Stahlrohre und Formstücke) publiziert, die den informativen Teil der DIN 2614 beinhaltet /7/.

3. Physikalische Eigenschaften der Zementmörtelauskleidung

Bei der Bewertung der physikalischen Eigenschaften einer Zementmörtelauskleidung für die Praxis sind vor allem Festigkeiten, Porosität und Oberflächenrauheit zu berücksichtigen. Diese Eigenschaften haben bei der Qualitätskontrolle in der Produktion, bei Verlegung und Inbetriebnahme sowie während des Betriebes zementmörtelausgekleideter Leitungen unterschiedliches Gewicht.

3.1 Mechanische Festigkeiten

Während die Druckfestigkeiten bzw. die Druckfestigkeitsentwicklung eines Betons für die statische Auslegung eines Bauwerks von gravierender Bedeutung ist, spielen die mechanischen Eigen-

schaften des Zementmörtels bei den vergleichsweise dünnen Schichtdicken in der Rohrstatik keine Rolle. Die Tabelle 1 gibt dazu einen Überblick der in den Normen festgelegten Auskleidungsschichtdicken für Guss- und Stahlrohre.

Tab. 1: Schichtdicke der Werksauskleidungen für Guss- und Stahlleitungen

Guss (DIN EN 545)		Stahl (DIN 2614)	
Nennweite DN	Nennschicht- dicke mm	Nennweite DN	Nennschicht- dicke mm
40 – 300	3,5	100 – 150	5
350 – 600	5	150 – 300	6
700 – 1200	6	300 – 600	7
1400 – 2000	9	600 – 900	9
		900 – 1200	13
		> 1200	15

Trotzdem wird die Ermittlung der Druckfestigkeit eines Zementmörtels für die Auskleidung von Rohrleitungen in jeder Norm gefordert. Die hier ermittelte Druckfestigkeit hat jedoch primär in der Qualitätssicherung ihre Bedeutung und dient zur Überwachung der Vormaterialien bzw. zur Überwachung der Dosiereinrichtungen in der Produktion.

Bei der Verlegung zementmörtelausgekleideter Stahlrohre wird immer wieder die Biegsbarkeit der Rohre angesprochen. Solche Rohrbiegungen sind beispielsweise für die Pipelineverlegung (Strangverlegung) oder bei der Dimensionierung einer Startgrube für die grabenlose Rohrverlegung von Stahlrohren mit Schweißverbindung von Bedeutung. Für einen Werkstoff St 37.0 erlaubt die DIN 2880 einen zulässigen Biegeradius von etwa 500 Da. Über die zulässigen Mindestbiegeradien der Rohre aus St 37.0 informiert Tabelle 2.

Tab. 2: Zul. min. Biegeradius zementmörtelausgekleideter Stahlrohre (DIN 2880, St 37.0)

Nenn- weite DN	Biege- radius m	Nenn- weite DN	Biege- radius m	Nenn- weite DN	Biege- radius m	Nenn- weite DN	Biege- radius m
80	44	250	135	600	300	1200	600
100	56	300	160	700	350	1400	700
125	69	350	175	800	400	1600	800
150	83	400	200	900	450	1800	900
200	108	500	250	1000	500	2000	1000



Abb. 5:
4-Punkt
Biegeeinrichtung

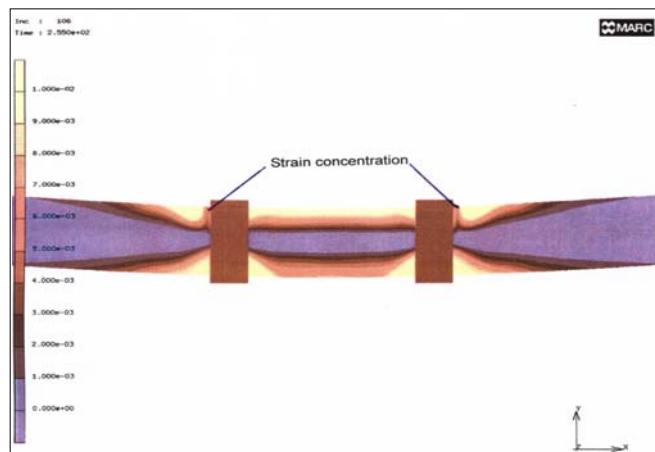


Abb. 6: FEM-Analyse zur Wirkung der Biegelager

Vielfach unbekannt ist die Tatsache, dass diese Biegeradien nicht aufgrund der Zementmörtelauskleidung, sondern primär zur Einhaltung der elastischen Biegeradien des Stahlrohres festgelegt sind. Eine Unterschreitung dieser Biegeradien führt zur plastischen Verformung der Rohre. In Versuchen konnte gezeigt werden, dass zementmörtelausgekleidete Stahlrohre bis in den plastischen Bereich hinein gebogen werden könnten, ohne das die Zementmörtelauskleidung dabei Schaden nimmt. Abbildung 5 zeigt einen solchen Biegeversuch an einem 6 m langen zementmörtelausgekleideten Stahlrohr, bei dem nach einer 4-Punkt-Biegung von 200 Da lediglich im Bereich der Biegelager umlaufende Risse in einer Breite von max. 0,5 mm festgestellt wurden.

Derartige Rissbreiten liegen entsprechend den Anforderungen der DIN 2614 sogar für den Einsatz einer Auskleidung im Abwasserbereich noch im zulässigen Bereich. Ursache für diese Risse sind die im Bereich der Biegelager punktuell wirkenden Kräfte. Zum Biegen des 6 m langen Stahlrohres müssen im Bereich der Biegelager erhebliche Kräfte aufgebracht werden, die eine Verformung über den Rohrumfang zur Folge haben. In der FEM-Berechnung wird die Wirkung der Biegelager und damit die lokal auftretende Verformung des Rohres besonders deutlich (Abb. 6). Bei der Pipelineverlegung oder dem Einzug eines Rohres über die Startgrube in den Bohrkanal während einer Verlegung im HDD-Verfahren treten solche lokal wirkenden Kräfte erst gar nicht auf. Die hier beobachtete Rissbildung unterbleibt.

3.2 Porosität

Die Porosität einer Zementmörtelauskleidung macht sich insbesondere bei der Druckprobe einer Wasserleitung bemerkbar. Aus diesem Grunde existiert in der Normung neben der DIN 4279 Teil 1 (Innendruckprüfung von Druckrohrleitungen für Wasser) mit der DIN 4279 Teil 3 (Innendruckprüfung von Druckrohrleitungen für Wasser – Druckrohre aus duktilem Gusseisen und Stahlrohre mit Zementmörtelauskleidung) ein separater Teil für die Druckprüfung an zusätzlich mit Zementmörtel ausgekleideten Rohrleitungen. Während der Druckprüfung ist zu berücksichtigen, dass der Mörtel in Abhängigkeit vom Prüfdruck Wasser aufnimmt. So kennt die DIN 4279 Teil 3 drei Prüfverfahren.

Beim Normalverfahren wird unter Aufrechterhaltung des Prüfdruckes im Verlauf von 24 Stunden der Mörtel mit Wasser gesättigt. Die eigentliche Hauptprüfung kann dann nach der üblichen Kontrolle auf Lufteinschlüsse durchgeführt werden. Die Sättigungsphase wird im Falle des beschleunigten Normalverfahrens von 24 Stunden auf 1 Stunde verkürzt. Je nach Dimension und Leitungslänge ist in diesem Fall während der eigentlichen Druckprüfung innerhalb gewisser Grenzen ein zulässiger Druckverlust festgelegt.

Das Sonderverfahren kennt keine Sättigungsphase sondern berücksichtigt während mehrerer Einzelprüfungen, die je nach Rohrdimension 30 oder 60 Minuten betragen, die systembedingten Druckverluste. Am Ende jeder Einzelprüfung wird der Prüfdruck wiederhergestellt. Die auftretenden Druckverluste sollten nach jeder Einzelprüfung abnehmen (Abb. 7).

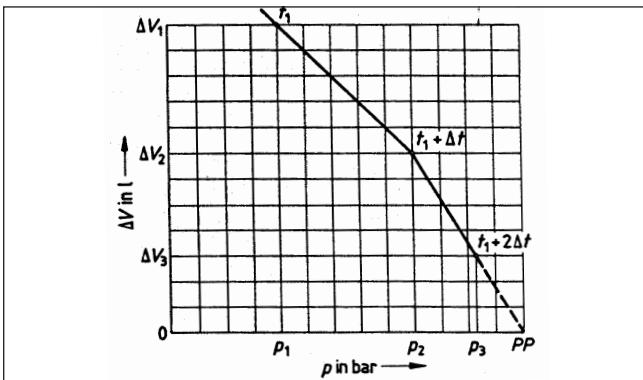


Abb. 7: Innendruckprüfung mit dem Sonderverfahren nach DIN 4279 Teil 3
– Wasserzugabe dV als Funktion des Druckes p –
(t = Zeitraum einer Einzelprüfung, PP = Prüfdruck)

3.3 Oberflächenrauheit

Die Auslegung der Pumpenleistungen für den Betrieb einer Rohrleitung erfordert für einen gewünschten Durchsatz die Abstimmung von Pumpen- und Anlagenkennlinien unter Berücksichtigung der geodätischen Höhenunterschiede. Bei der Berechnung der Anlagenkennlinie sind die Rauheiten der Rohrleitung zu berücksichtigen. Dazu finden sich für den Betrieb zementmörtelausgekleideter Rohrleitungen im DVGW-Arbeitsblatt W 302 (Hydraulische Berechnung von Rohrleitungen und Rohrnetzen) Rauheiten, die nur bedingt von der materialspezifischen Oberflächenrauheit der Auskleidung abhängen. Das DVGW-Arbeitsblatt in der Fassung vom August 1981 nennt die folgenden Rauheiten k_i :

$k_i = 0,1$ (mm) Fernleitungen und Zubringerleitungen mit gestreckter Leitungsführung aus Stahl- oder Gussrohren mit ZM-Auskleidung bzw. Bitumenauskleidung sowie Spannbeton- oder Asbestzementrohren

$k_i = 0,4$ (mm) Hauptleitungen mit weitgehend gestreckter Leitungsführung aus denselben Rohren aber auch aus Stahl- und Gussleitungen ohne Auskleidung, sofern Wassergüte und Betriebsweise nicht zu Ablagerungen führen.

$k_i = 1,0$ (mm) Neue Netze; durch den Übergang von $k_i = 0,4$ (mm) auf $k_i = 1,0$ (mm) wird der Einfluss starker Vermauschung näherungsweise berücksichtigt.

In einem Verteilungsnetz wird der Strömungswiderstand primär durch Abgänge, Formteile und Armaturen bestimmt. Gleiches gilt für eine weniger gestreckte Leitungsführung. Für den Idealfall einer gestreckten Leitungsführung mit $k_i = k_s$ sind in Tabelle 3 einmal beispielhaft die Druckverlusthöhen auf 1000 m Leitungslänge für zementmörtelausgekleidete und hydraulisch glatte Rohre einander gegenübergestellt. Dabei wurde eine für Transportleitungen übliche Durchflussgeschwindigkeit von 2 m/s angenommen.

Tab. 3: Vergleich der Druckverlusthöhen von zementmörtelausgekleideten und hydraulisch glatten Rohrleitungen auf der Basis der materialspezifischen Oberflächenrauheit

Dimensionen	Druckverlusthöhe m/km	
	Zementmörtelausgekleidete Rohre	Hydraulisch glatte Rohre
DN 300	11,28	8,90
DN 400	7,95	6,47
DN 600	4,89	4,00
DN 1000	2,65	2,21

Die dabei ermittelten theoretischen Unterschiede sind in der Praxis unter Berücksichtigung geodätischer Höhenunterschiede, dem erforderlichen Druck am Ende der Leitung und die Strömung beeinträchtigende Faktoren, wie Umlenkungen oder Querschnittsverengungen durch Formteile und Armaturen, vernachlässigbar.

Des weiteren gilt die ‚Sandrauheit‘ $k_s = 0,1$ nur für neue zementmörtelausgekleidete Rohrleitungen. Mit der Betriebszeit nimmt die Rauheit einer Zementmörteloberfläche aufgrund der Bildung feiner Schichten aus Eisen- und Manganoxiden ab. In der Praxis wird daher keine Unterscheidung zwischen den heute üblichen Rohrmaterialien und Rohrausführungen getroffen. In den 1985 publizierten Ergänzungen zum DVGW-Arbeitsblatt W 302 werden wie schon in der ersten Fassung primär die Strömung beeinträchtigende Faktoren einer Rohrleitung, wie beispielsweise Armaturen, Bögen oder Abgänge zur Klassifizierung der Rauheiten einer Leitung berücksichtigt. Es findet keine Differenzierung zwischen den in den Ergänzungen neu aufgenommenen Kunststoffrohren und zementmörtelausgekleideten Rohrleitungen statt.

4. Chemische Eigenschaften

Bei der Betrachtung der chemischen Eigenschaften einer Zementmörtelauskleidung interessiert nicht nur die Beständigkeit unter Berücksichtigung der verschiedenen Wasserparameter oder die Frage möglicher Korrosionen im Spaltbereich einer Stumpf-schweißverbindung, sondern auch die Beeinflussung der Wasserqualität durch Mörtelinhaltsstoffe oder Produkte aus der Reaktion von Mörtelbestandteilen mit Wasserinhaltstoffen. Zementmörtelauskleidungen unterliegen grundsätzlich den hygienischen Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 347 (Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich). In den Erläuterungen der DIN 2614 wird unter hygienischen Gesichtspunkten auf die Besonderheiten der Zementmörtelauskleidung während der Inbetriebnahme in Bezug auf die Chlorzehrung bei der Desinfektion und die Alkalität von Zementmörtelauskleidungen hingewiesen.

4.1 Desinfektion zementmörtelausgekleideter Rohrleitungen

Nach Abschluss einer Wasserrohrverlegung bilden Druckprüfung und Desinfektion die letzten Hürden vor der Inbetriebnahme einer Wasserrohrleitung. Der Erfolg einer abschließenden mikrobiologischen Untersuchung zur Freigabe der Rohrleitung hängt dabei wesentlich von der Sorgfalt während der Verlegung ab. Verunreinigungen bzw. Verkeimungen sollten durch das Verschließen der Rohrleitungen und die Verwendung hygienisch einwandfreier Materialien bei der Montage vermieden werden. Die Vorgehensweise zur Desinfektion von Rohrleitungen ist im DVGW Arbeitsblatt W 291 (Desinfektion von Wasserversorgungsanlagen) festgelegt. Das Arbeitsblatt nennt drei Verfahren zur Desinfektion von Rohrleitungen.

1. Das Spülverfahren

Insbesondere bei kleineren Rohrleitungen kann die aufwändige chemische Desinfektion durch den Einsatz des Spülverfahrens vermieden werden. Die Rohrleitung sollte dazu mit Trinkwasser bei einer Durchflussrate von mind. 1,5 m/s durchspült werden. Die Spülwassermenge sollte etwa das 3 bis 5fache des Leistungsvolumens 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.

2. Das statische Verfahren

Unter Einsatz von Desinfektionsmitteln wird in der Regel das statische Verfahren gewählt, d.h. die Leitung wird mind. 12 Stunden mit desinfektionsmittelhaltigem Wasser gefüllt. Nach 12 Stunden sollte im Wasser noch Desinfektionsmittel nachweisbar sein. Es empfiehlt sich, dieses Verfahren in Kombination mit der Druckprüfung einer Leitung anzuwenden.

3. Das dynamische Verfahren

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

Tabelle 4 informiert über die gebräuchlichsten Desinfektionsmittel, die erforderlichen Konzentrationen und die jeweils erforderlichen Maßnahmen für die Entsorgung der Lösungen nach Abschluss der Desinfektion /8/.

Tab. 4: Chemikalien zur Rohrleitungsdesinfektion /8/

Bezeichnung	Handelsform	Lagerung	Sicherheits-hinweise	Konzentration in der Rohrleitung	Entsorgung
Chlorbleichlauge = Natrium-hypochlorid NaOCl	Wässrige Lösungen mit max. 150 g/l Chlor	Lichtgeschützt und kühl, verschlossen, in Auffangwanne	Alkalisch, ätzend, giftig, Schutzausrüstung erforderlich; WGK 2 ¹⁾	10 – 100 mg/l Chlor i.d.R. 50 mg/l	Entchlorung durch Aktivkohlefiltration oder Zugabe von Natriumthiosulfatlösung (2g technisches Natrium-Thiosulfat je 1 g Chlor) oder Verdünnung bis zur Unschädlichkeit (<0,02 mg/l)
Chlorkalk = Calcium-hypochlorid Ca(OCl) ₂	Granulat oder Tabletten mit 65 % Ca(OCl) ₂	Kühl, trocken, verschlossen	Lösung reagiert alkalisch, ätzend, giftig, Schutzausrüstung erforderlich; WGK 2 ¹⁾	10 – 100 mg/l Chlor i.d.R. 50 mg/l	
Chlordioxid ClO ₂	AQUA-AKTIV 2-Komponenten-Präparat (Natriumchlorit + Natrium-peroxodisulfat)	Lichtgeschützt und kühl, nicht zusammen mit Säuren, sauren Salzen und Reduktionsmitteln	Lösung reagiert leicht alkalisch, ätzend, giftig, Schutzausrüstung erforderlich; WGK 2 ¹⁾	130 ml der gebrauchsfertigen Lösung (= 0,18 mg/l ClO ₂)	Die angegebenen Desinfektionsmittelkonzentrationen unterschreiten die Grenzwerte der TrinkwV, daher problemlose Entsorgung
Kalium-permanganat KMnO ₄	Schwarzes Salz in feinkristalliner Form	In gut verschlossenen Metallbehältern fast unbegrenzt haltbar	Wirkt oxidierend; konzentrierte Lösungen erfordern Hautschutz; WGK 2 ¹⁾	5-15 mg/l KMnO ₄	Verdünnung bis zur Unschädlichkeit (0,63 mg/l KMnO ₄) ¹⁾ ; Reduktion mit Ascorbinsäure (Vitamin C)
Wasserstoff-peroxyd H ₂ O ₂	Wässrige Lösungen 5%, 15%, 30%, 35% ...	Lichtgeschützt, kühl, Verunreinigungen unbedingt vermeiden (Zersetzungsgefahr)	Bei Lösungen 5% Schutzausrüstung erforderlich; WGK 0 ¹⁾	100 – 150 mg/l H ₂ O ₂	Zerfällt sehr leicht in Wasser und Sauerstoff, daher problemlose Entsorgung

1) Wasser-Gefährdungs-Klasse: WGK 0 = im allgemeinen nicht wassergefährdend – WGK 1 = schwach wassergefährdend – WGK 2 = wassergefährdend – WGK 3 = stark wassergefährdend

Bei der Desinfektion zementmörtelausgekleideter 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 beispielsweise einer Auskleidung auf Hochfenzementbasis (HOZ) um das 10fache größer ist als im Falle einer Portlandzementmörtelauskleidung (PZ). Die Auskleidung auf Tonerdeschmelzzementbasis (TEZ) nimmt hier eine Mittelstellung ein (Abb. 8) /9/.

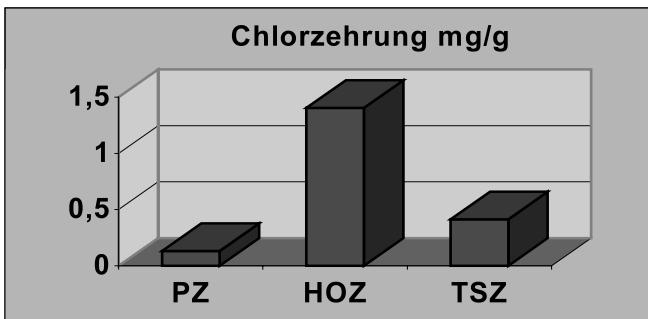


Abb. 8: Vergleich der Chlorzehrung unterschiedlicher Zementarten /9/

Da unabhängig von der eingesetzten Zementbasis die Desinfektionsmittelkonzentration im DVGW-Arbeitsblatt W 291 festgelegt wurde, ist beispielsweise bei einem Wechsel der Zementbasis einer Auskleidung die unterschiedliche Chlorzehrung zu beachten. Dies

gilt insbesondere bei einem Wechsel von Hochfenzement 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.

Auch der Ammoniumgehalt der Zemente hat offensichtlich einen Einfluss auf die Chlorzehrung einer Zementmörtelauskleidung. So berichtete Wendland 1988 erstmalig über die mögliche Bildung von Chloraminen, die den wirksamen Anteil der eingesetzten Chlorkonzentration reduzieren und damit als mögliche Ursache für die Wiederverkeimung von Rohrleitungen in Frage kommen könnten /10/. 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 /11/ (siehe Abbildung 9 nächste Seite oben)..

Maurer und Bruins veröffentlichten in diesem Zusammenhang Ergebnisse von Untersuchungen zur Bestimmung der Ammoniumgehalte verschiedener Zementarten. Im Vergleich zum Portlandzement wurde bei Hochfenzementen das 10fache an Ammoniumgehalten nachgewiesen (Abb. 9) /12/. 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

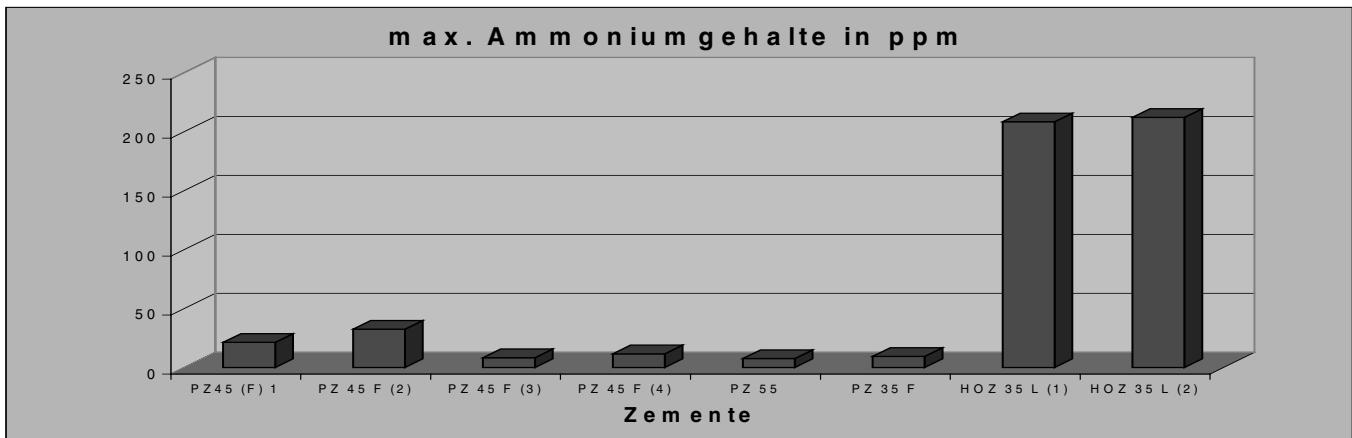


Abb 9: Bestimmung der Ammoniumgehalte verschiedener Zementsorten /12/ (Ionenchromatographie/Leitfähigkeitsdetektion)

erheblichem Maße abhängig vom pH-Wert und nimmt mit zunehmender Alkalität der desinfektionsmittelhaltigen Lösung ab. Zementmörtelausgekleidete Rohre können den pH-Wert bei erstmaliger Befüllung insbesondere unter Stagnation deutlich anheben. Als günstig hat sich unter diesen Bedingungen der Einsatz von Chlordioxid erwiesen. Die Wirksamkeit des Chlordioxids ist über einen weiten pH-Bereich sichergestellt /13/.

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

4.2 Alkalität der Zementmörtelauskleidung

Während die Alkalität einer Zementmörtelauskleidung unter korrosionschemischen Gesichtspunkten für die Passivierung des Grundmaterials von elementarer Bedeutung 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 dem bereits erwähnten Symposium in den Vereinigten Staaten über die Zunahme der Calciumkonzentration und die Alkalität des Wassers während der Inbetriebnahme zementmörtelausgekleideter Rohre berichtet /3/. 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 erwogen, eine Verfahrensweise, die heute in Großbritannien aufgrund der, regional bedingt, äußerst weichen Wässer und fehlenden Trinkwasseraufbereitung verstärkt praktiziert wird.

Dazu werden poröse organische Beschichtungen auf Epoxid- oder Bitumenbasis auf die Zementmörtelauskleidungen appliziert, um Wechselwirkungen 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 sehr weicher saurer Wässer während und nach der Inbetriebnahme relativ hohe pH-Werte beobachtet, die zum Teil auch Größenordnungen jenseits des durch die TrinkwV festgelegten Grenzwertes von pH 9,5 annehmen konnten /14/. 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 Fördermedium.

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 ausgelagert. Nach jeweils 3,5 Tagen wurde der pH-Wert gemessen und das Wasser erneuert. Mit zunehmender Wasserhärte verringerte sich die Zahl der erforderlichen Wasserwechsel zur Einhaltung des nach TrinkwV geforderten max. pH-Wertes von 9,5 /14/.

Die Alkalisierung des Wassers beim ersten Kontakt mit dem, an den Kontaktflächen noch nicht carbonatisierten Zementmörtel 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 dem im Wasser gelösten CO_2 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, aber auch im Medium selbst erfolgen. Über die Bildung von kristallinen 'Calcium-carbonat-Nebeln' wurde bereits 1933 auf dem bereits erwähnten Symposium berichtet und lässt sich mit weiteren Beispielen aus der Praxis leicht ergänzen. So wurde beispielsweise kurze Zeit nach der Inbetriebnahme einer Trinkwasserleitung vom Endverbraucher der permanente Ausfall seiner Filteranlage in der Hausinstallation beim Wasserversorgungsunternehmen bemängelt. Der Filter musste mehrfach gegengespült und letztlich sogar ausgetauscht werden. Der Filterrückstand (Abb. 10) 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 (Abb. 11) vorlagen, die auf eine bereits erwähnte Reaktion der Hydrogencarbonate mit dem aus dem noch jungen Zementmörtel herausgelösten Calciumhydroxid zurückzuführen war.



Abb. 10: Filter mit Rückstand

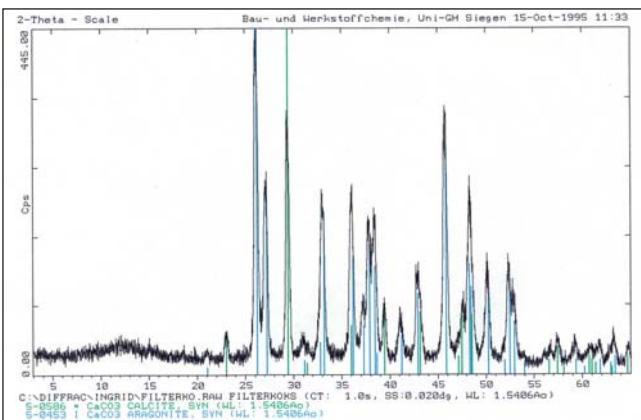


Abb. 11: Röntgenspektralanalyse des Filterrückstandes

Derartige Fälle können heute insbesondere in Neubaugebieten auftreten. Bei der Neuerschließung werden üblicherweise zuerst die Rohrleitungen verlegt.

Die Wasserleitungen werden geprüft, desinfiziert und anschließend befüllt sich selbst überlassen.

Es folgte mit einem zeitlichen Abstand der Bau der Häuser, die bis vor einigen Jahren in der Regel Stein auf Stein gebaut wurden. Dazu mussten nicht unbedeutliche 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 aufgestellt, einer Bauweise die keiner Wasserentnahme 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 /15/. Völkel untersuchte die Wechselwirkungen von Mörtelauskleidung und Trinkwasser in einem Versuchsstand, der den Einsatz 1 m langer zementmörtelausgekleideter Rohrsegmente DN 100 erlaubte.

Das Wasser im Versuchsstand wird im Kreislauf geführt. pH-Wert, Leitfähigkeit und Temperatur konnten kontinuierlich überwacht und aufgezeichnet werden (Abb. 12). Über die Versuchsbedingungen informiert Tabelle 5. Das Rohrsegment wurde mit einem Durchfluss von 400 l/min durchspült die Wassertemperatur betrug 10 °C. Die max. Versuchsdauer lag bei 7 Tagen, wobei i.D.R. in den ersten 24 Stunden ein pH-Wert-Maximum durchlaufen wurde.

Für die Auswertung der Ergebnisse wurde der höchste jeweils gemessene pH-Wert berücksichtigt. In diesen Untersuchungen wurden zementmörtelausgekleidete Rohrsegmente mit unterschiedlicher Lagerungsdauer eingesetzt.



Abb. 12: Versuchsstand zur Untersuchung der Wechselwirkungen von Zementmörtelauskleidung und Trinkwasser /16/

Tab. 5: Versuchsbedingungen und Wasserparameter bei der Untersuchung der Wechselwirkungen von Trinkwasser und Auskleidung

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

Es zeigte sich, dass mit zunehmender Lagerungsdauer der Auskleidung die ermittelten pH-Werte abnehmen (Abb. 13). Nach einer Lagerungsdauer von 6 Monaten wurde der nach TrinkwV zulässige Grenzwert von pH 9,5 im Versuchsstand nicht mehr überschritten.

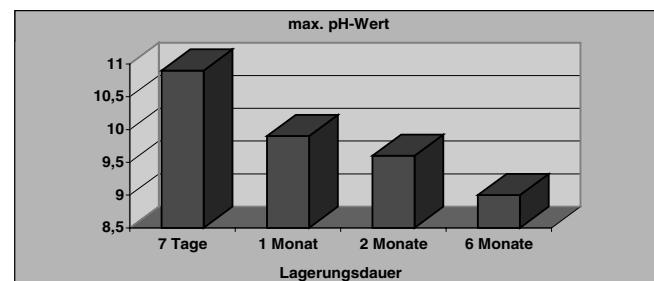


Abb. 13: Abhängigkeit der pH-Wert-Maxima von der Lagerungsdauer der Rohre (Bed.: siehe Tabelle 5)

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 CO₂ der Luft.

Diese Ergebnisse geben einen weiteren Hinweis auf die Ursache der zunehmenden Bedeutung dieser Fragestellungen. In immer stärkerem Maße werden heute Rohre projektbezogen 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 vorprogrammiert. Auch wenn diese pH-Wert-Erhöhung speziell im Falle der Wässer, die sich im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht bewegen, überwiegend kurzfristiger Natur sind, wird nach Verfahren gesucht, diese Wechselwirkungen zwischen Zementmörtelauskleidung und Trinkwasser während der Inbetriebnahme zu minimieren.

Unter Einsatz des bereits beschriebenen Versuchsstandes wurde dazu ein Verfahren entwickelt, das 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 Auskleidungsüberfläche kann diese etwa 200 bis 400 µm dicke Zementschicht weitgehend entfernt, das darunter befindliche, mit Sandkorn angereicherte Schicht freigelegt und damit die aktive Oberfläche drastisch reduziert werden. Die Rotationsgeschwindigkeit (Schleuderlast) bei der Herstel-

lung der Auskleidung, die Sieblinie des Sandes und die Intensität des Strahlprozesses müssen dazu zwangsläufig aufeinander abgestimmt sein. Auch die Zementbasis leistet unter Anwendung dieses Verfahrens zur Reduktion der Wechselwirkungen von Auskleidung und Trinkwasser einen Beitrag (Abb. 14).

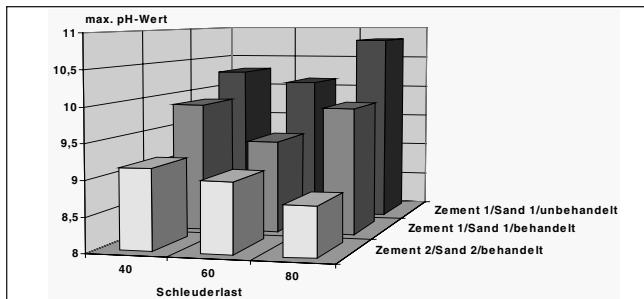


Abb. 14: Einfluss von Verfahrensparametern, Einsatzmaterialien und Vorbehandlung der Auskleidung auf die pH-Werte bei Kontakt mit Trinkwasser (Bed.: siehe Tabelle 5, Alter der Auskleidung 28 Tage)

In Deutschland existieren in diesem Zusammenhang mehrere Patente zur Herstellung poröser anorganischer Deckschichten durch die chemische Behandlung der Auskleidungsoberfläche mit Phosphaten oder Kohlendioxid /17/18/. Auf der Mörteloberfläche entstehen so dünne Schichten auf Calciumphosphat- oder Calciumcarbonatbasis die eine alkalische Reaktion der Auskleidung bei Kontakt mit Trinkwasser unterbinden sollen. 1999 erschien dazu der Anhang zum DVGW-Arbeitsblatt W 346 (Guss- und Stahlleitungsteile mit ZM-Auskleidung), der über Baustellenmaßnahmen zur Reduktion der pH-Werte bei der Inbetriebnahme zementmörtelausgekleideter Rohrleitungen informiert. In diesem Anhang werden zwei Verfahren beschrieben, die durch einen kurzfristigen Einsatz mit Natriumhydrogencarbonat angereichertem Wasser oder durch den Einsatz von CO₂ unter Druck eine Carbonatisierung der Oberfläche zu erzwingen /19/. Das gemeinsame Ziel aller dieser Verfahren ist letztlich die Reduzierung der aktiven Oberfläche der Auskleidung.

4.4 Korrosionschemische Eigenschaften der Zementmörtelauskleidung

Der Einsatz von Zementmörtelauskleidungen im Trinkwasserbereich ist unter korrosions-chemischen Gesichtspunkten an Grenzwerte geknüpft, die in der DIN 2614 bzw. der DIN 2880 festgelegt sind. Diese Grenzwerte betreffen den Calciumgehalt (1 mg/l) und den Summenparameter QC aus den molaren Konzentrationen CO₂, CO₃²⁻ und HCO₃⁻ (0,25 mmol/l) sowie den Gehalt an überschüssiger Kohlensäure (7 mg/l) bzw. das Calcitlösevermögen (12 mg/l CaCO₃) des geförderten Trinkwassers. Unter Berücksichtigung dieser Grenzwerte ist die Zementmörtelauskleidung in den meisten Trinkwässern einsetzbar. Aggressivere wässrige Medien wie Salzwässer, Solen oder Abwässer sind unter Zusatz von Kunststoffdispersionen, Verflüssigern oder unter Einsatz säurebeständiger Mörteltypen beherrschbar, sind jedoch nicht Gegenstand dieses Beitrages.

Die in der DIN 2614 bzw. DIN 2880 festgelegten Einsatzgrenzen beruhen auf Praxiserfahrungen und den Ergebnissen von Forschungsarbeiten, die mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms „Korrosion und Korrosionsschutz“ im Verlaufe 8-jähriger Untersuchungen in den unterschiedlichsten Wässern des Bundesgebietes gewonnen wurden. Eine zusammenfassende Übersicht dieser Aktivitäten wurde 1990 von Holt schulte, Heinrich und Schwenk veröffentlicht /20/. Dieser Bericht wurde 1991 und 1994 durch Beiträge ergänzt, in denen weitere Resultate dieser Forschungsaktivitäten vorgestellt wurden /21/22/.

Neben den Untersuchungen zur Mörtelbeständigkeit und dem Abriebverhalten wurde in diesen Feldversuchen auch die Selbstheilung bzw. die Deckschichtbildung des Grundmaterials in Rissen und Spalten untersucht, wie sie beispielsweise im Bereich der Stumpfschweißverbindung von Stahlrohren vorliegen. Diese

Stumpfschweißverbindung findet hauptsächlich Anwendung beim Bau von Trinkwassertransportleitungen. Der Vorteil dieser Verbindungstechnik liegt in der üblichen Montage einzelner Rohrstränge neben oder über dem Rohrgraben, eine Bauweise, die sich außerhalb der begrenzten Verhältnisse bebauter Gebiete hervorragend bewährt hat. Im Rahmen der zulässigen elastischen Biegeradien werden die vorgefertigten Rohrstränge in den Graben abgesenkt. Erfordern Verlege tiefe und Grabenprofil einen zusätzlichen Verbaubereich, kann dieser auf den Verbindungs bereich der einzelnen Rohrstränge begrenzt werden.

Schweißtechnisch handelt es sich bei den Stumpfschweißverbindungen um Fallnahtschweißungen, die unter Einsatz zellulose umhüllter Elektroden ausgeführt werden /23/. Die Schweißnaht besteht aus der Wurzellage, je nach Wanddicke des Rohres einer oder mehreren Zwischenlagen und der Decklage. Für eine einwandfreie Wurzelschweißung ist die Zementmörtelauskleidung an den Rohrenden zurückgeschnitten. Dieser Rückschnitt beträgt bei Großrohren i.d.R. etwa 20 mm. Die Verbindungs bereiche dieser begehbarer Rohrdimensionen werden nach dem Verschweißen innen mit Zementmörtel nachgearbeitet.

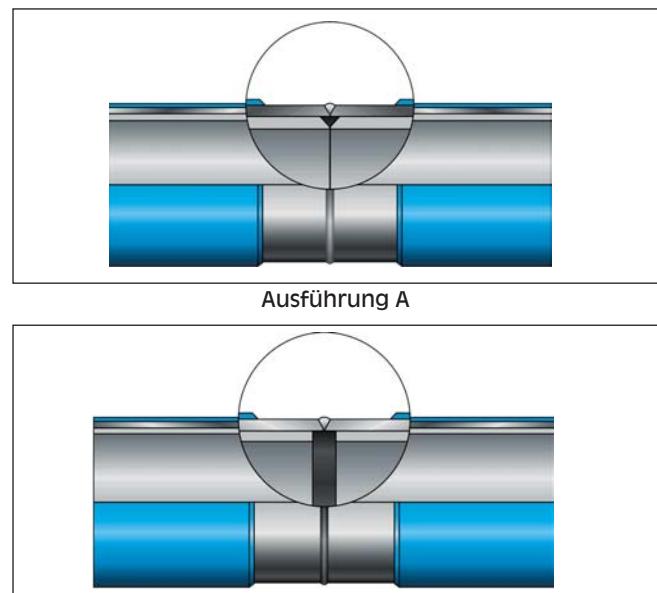


Abb. 15: Stumpfschweißverbindungen nicht begehbarer Rohr dimensionen

Im nicht begehbarer Bereich der Rohrdimensionen sind für den Transport von Trinkwasser oder trinkwasserähnlicher Medien in der DIN 2614 zwei Endenaufführungen (Ausführung A und B) vorgesehen (Abb. 15). Nach dem Verschweißen der Rohre verbleibt ein etwa 10 mm breiter ungeschützter Bereich, der jedoch im Falle der bereits seit Jahrzehnten verlegten Rohrleitungen zu keinem Korrosionsschaden geführt hat.

Zur Untersuchung dieser scheinbar ungeschützten Bereiche wurden in den Feldversuchen des vom BMFT finanzierten Forschungs- und Entwicklungsprogramms neben den verschiedenen Ausführungen der Zementmörtelauskleidung auch blanke Ringproben in den ausgekleideten Rohrabschnitten eingesetzt, um den Verbindungs bereich stumpfgeschweißter Rohre zu simulieren. So konnten in Abhängigkeit von der Wasserzusammensetzung unterschiedlicher Versorgungsgebiete die Abtragsraten des Grundwerkstoffes in den ungeschützten Spalten einer Auskleidung ermittelt werden. Tabelle 6 gibt dazu einen Überblick der an diesen Feldversuchen beteiligten Wasserversorgungsunternehmen. Das Korrosionsverhalten der Ringproben ergab, dass in den sauerstoffhaltigen Wässern unterschiedlicher Härte in jedem Fall Schutzschichten gebildet werden, die die Korrosionsgeschwindigkeit des Rohrwerkstoffes auf vertretbare Werte begrenzen (siehe Tabelle 7). Die chemische Analyse der festen Schutzschichten ergab eine Mischung aus Fe₂O₃, H₂O, SiO₂, PO₄, Cl, Al₂O₃, SO₄, MnO₂ und CaO.

Tab. 6: Beteiligte Wasserversorgungsunternehmen nach /21/22/

Forschungsstelle	Wasserversorgungsunternehmen/Ort	Wasserart	
DO 1	Dortmunder Stadtwerke, Villigst	Trinkwasser, entsäuert	pH 7,85, ΔCO_2 0,6 mg/l O ₂ 6,5 mg/l
DO 2	Dortmunder Stadtwerke, Villigst	Rohwasser, sauer	pH 6,90, ΔCO_2 20,6 mg/l O ₂ 8,0 mg/l
H	Stadtwerke Hannover, Fuhrberg	Rohwasser, sauerstofffrei, und sauer	pH 6,53, ΔCO_2 57,5 mg/l O ₂ 0,1 mg/l
HI 1	Harzwasserwerke, Eckerntalsperre	Rohwasser, Huminstoffreich	pH 9,11, ΔCO_2 0,0 mg/l O ₂ 11,5 mg/l
HI 2	Harzwasserwerke, Lewerberg (Granetalsperre)	Trinkwasser, sehr weich	pH 4,67, ΔCO_2 1,8 mg/l O ₂ 10,0 mg/l
REG	ZV Bayerischer Wald, Talsperre Frauenau	Rohwasser, weich und sauer	pH 6,10, ΔCO_2 6,3 mg/l O ₂ 11,0 mg/l

ΔCO_2 = überschüssige Kohlensäure, Grenzwert nach DIN 2614 max. 7 mg/l

Tab. 7: Korrosion der Ringproben (Spaltproben) nach /21/22/

Wasser	DO 1	DO 2	H	HI 1	HI 2	REG
m _a in g/cm ²	0,18	0,20	1,83	0,24	0,23	0,23 – 0,42
I _{max} in mm	0,60	0,65	D *	0,67	0,57	0,40 – 0,60

*) D = Durchbrüche

Demnach handelt es sich im Wesentlichen um gealterten Rost mit Spuren der Deckschichtbildner SiO₂, Al₂O₃ und PO₄. Nach den Befunden dieser 8-jährigen Feldversuche sind durchgehende Spalte in der Auskleidung bis zu einigen mm Breite zulässig, so dass Stumpfschweißverbindungen nach DIN 2614 verwendet werden können.

Lediglich in einem sauren, sauerstofffreien Rohwasser wurden Durchbrüche festgestellt. In solchen Problemwässern muss daher die Auskleidung im Schweißnahtbereich vervollständigt werden. Dieses Beispiel zeigt, dass der im Wasser gelöste Sauerstoff bei der Ausbildung schützender Deckschichten große Bedeutung hat.

Eigene Untersuchungen an Rohrverbindungen aus langjährig betriebenen Rohrleitungen bestätigen diese Ergebnisse. Tabelle 8 gibt einen Überblick über das hier untersuchte Rohrmaterial und die jeweils vorliegenden Betriebsbedingungen. Die hier unter-

suchten Rohrverbindungen wurden in weichen Wässern mit einem pH-Wert um 8 betrieben.

Bei der 17 Jahre alten Rohrverbindung aus Hagen handelt es sich mit der Ausführung A um die ältere der beiden in DIN 2614 beschriebenen Rohrendenausführungen (siehe Abb. 15). Der etwa 2-3 mm breite Spalt in der Zementmörtelauskleidung hat sich im Laufe der Betriebszeit mit Abriss und fest haftenden Ablagerungen aus Calciumcarbonat zum Teil geschlossen. An der darunter liegenden Stahloberfläche zeigt sich eine rotbraune Deckschicht, die von weißen Kristallen durchsetzt ist. Die Geschwindigkeit des Korrosionsangriffs auf den Grundwerkstoff wurde durch die Bildung dieser Deckschicht auf ein Minimum herabgesetzt. Die in den Querschliffen gefundenen Mulden waren ca. 50 µm tief. Da die Rohrverbindung bei der Verlegung weder durchgeschweißt noch einwandfrei zentriert worden war, ist ein leichter Rohrversatz erkennbar (Abb. 16). Obwohl solche Kanten üblicherweise bevor-

Tab. 8: Untersuchte Proben und Einsatzparameter

Versorgungs-Gebiet	Wasser	Art der Verbindung/DN	Spalt/Freiliegender Grundwerkstoffbereich	Betriebszeit
Hagen Herdecke	Weich, hauptsächlich Karbonathärte (pH 8,0)	Stumpfschweißnaht DN 500 Rohrendenausführung A (siehe Abb. 15 A)	Spalt 2 – 3 mm 8 bis 10 mm freiliegender Grundwerkstoffbereich	1982 bis 1999
Kassel	Weich, hauptsächlich Karbonathärte (pH 8,0)	Stumpfschweißnaht DN 150 Rohrendenausführung B (siehe Abb. 15 B)	Spalt und freiliegender Grundwerkstoffbereich 8 – 10 mm	1989 bis 1999

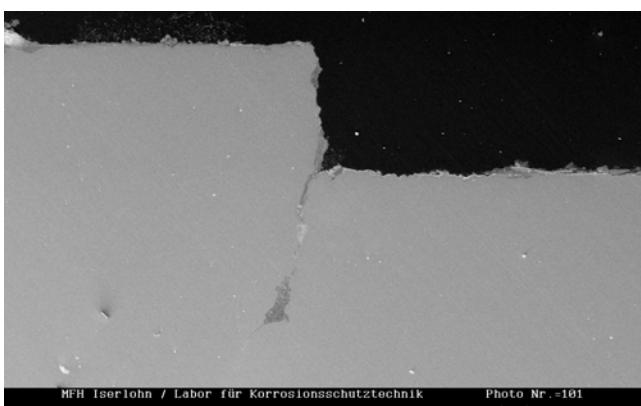


Abb. 16: Rohrversatz mit Spalt in der Schweißnaht, REM-Bild Vergrößerung 50x

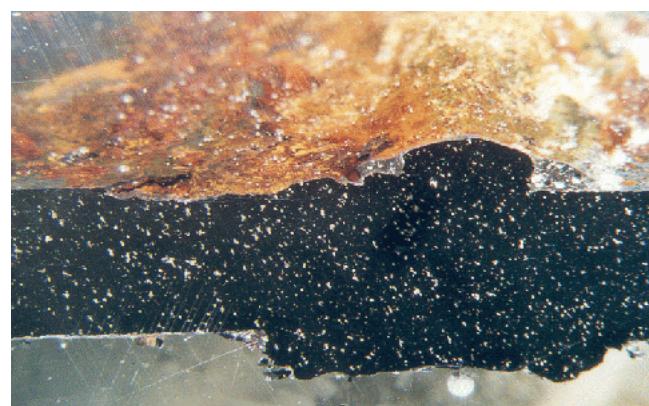


Abb. 17: Muldenkorrosion entlang der Schweißnahtkante, Vergrößerung 8x

zugte Angriffspunkte für Korrosionen bilden, waren auch nach 17-jähriger Betriebszeit kaum Materialverluste an diesem Rohrversatz erkennbar. Aufgrund der fehlenden Wurzelschweißung ist ein Spalt im Verbindungsreich zurückgeblieben (Abb. 16). Auch in diesem Spalt wurden Schutzschichten nachgewiesen. EDX-Analysen und Röntgenfeinstrukturuntersuchungen zeigen, dass die Deckschichten aus einer Mischung von Eisenoxid-/hydroxid mit lokal unterschiedlich hohen Anteilen von Calciumverbindungen (Calciumkarbonat, Calciumoxid-/hydroxid, Calciumsulfat) sowie Aluminium- und Siliciumverbindungen (Al_2O_3 , SiO_2) bestehen.

Die Rohrverbindung aus Kassel mit der Endenausführung B und damit einem Spalt von 8 bis 10 mm Breite hatte sich in den 10 Jahren nicht geschlossen. Am Spaltgrund wurde eine Deckschicht beobachtet, deren Zusammensetzung mit der Deckschicht aus der 17 Jahre alten Rohrverbindung vergleichbar ist. Entlang der Schweißnahtkante wurde ein muldenförmiger Angriff gefunden, deren Ausläufer bis unter die Mörtelauskleidung reichen. Im Querschliff (Abb. 17) sieht man am Rand dieser Mulde Reste einer dünnen schwarzen Schicht, die teilweise die Mulde abdeckt. EDX-Analysen zeigen das diese Schicht aus Eisenoxid (Zunder) besteht. Im Laufe der Jahre wurde diese Zunderschicht, die vermutlich beim Schweißen entstanden ist, langsam unterhöhlt. Die entstandenen Korrosionsprodukte bilden eine feste, dichte Schutzschicht, so dass auch nach 10 Jahren die Muldentiefe nur etwa 1/10 der Rohrwand ≈ 0.4 mm beträgt.

Die hier untersuchten Deckschichten entsprechen im wesentlichen den Analysen nach /21/. Auch die gefundene Angriffstiefe bis max. 400 μm zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Erkenntnissen der Untersuchungen im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms „Korrosion und Korrosionsschutz“ des BMFTs (siehe Tabelle 7). Die Untersuchungen zeigen, dass im Nahbereich einer Zementmörtelauskleidung offensichtlich Bedingungen stabilisiert werden (pH-Wert, Anionen- und Kationenkonzentrationen), die in Verbindung mit dem Calciumcarbonat und Deckschichtbildnern auf Aluminium und Siliciumbasis zur Bildung festhaftender Schutzschichten führen. Diese Deckschichten sind wenig durchlässig für Sauerstoff und Salze und begrenzen die Korrosionsgeschwindigkeit des Rohrwerkstoffes in solchen etwa 10 mm breiten Spalten auf technisch vertretbare Werte.

5. Schlussbetrachtung

Dieser Beitrag behandelt sowohl die physikalischen als auch chemischen Aspekte der Zementmörtelauskleidung von Guss- oder Stahlleitungen. Aus chemischer Sicht wurden dazu die korrosionschemischen, aber auch 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 Regelwerk produktseitig oder betrieblicherseits angepasst werden.

So war die Frage der Alkalisierung des Wassers aufgrund der in Deutschland üblichen Trinkwasseraufbereitung lange Zeit eher eine Randerscheinung. In den letzten 10 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 Lösungen bieten sich an:

- die Trinkwasseraufbereitung
- das Altern zementmörtelausgekleideter 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 überwiegen- den 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 und Selbstheilung, wie dies bei spielsweise im Falle des Portlandzementes nachgewiesen ist, günstig beeinflusst werden. Unter Berücksichtigung der in DIN 2614 bzw. DIN 2880 festgelegten Grenzwerte für das geförderte Trinkwasser sind unter korrosionschemischen Gesichtspunkten keine Probleme zu erwarten. Aufgrund der Fähigkeit zur Selbstheilung, aber auch der Begünstigung einer Deckschichtbildung freiliegender Grundwerkstoffbereiche ist die Zementmörtelauskleidung als ein aktives Korrosionsschutzsystem zu betrachten. Zementmörtelauskleidungen sind damit passiven Korrosionsschutzsystemen wie den organischen Beschichtungen technisch und wirtschaftlich weit überlegen.

6. Literatur

1. Hildebrand, H.; Schulze, M.; 3R international 25 (1986) 242 – 245
2. Schwenk, W.; 3R international 28 (1989) 666 – 668
3. Wood, L.P.; J. Am. Water Works Assoc, 25 (1933) 1728 – 1780
4. Schwenk, W.; 3R international 17 (1978) 448 – 459
5. Schwenk, W.; 3R international 23 (1984) 320 – 324
6. Fertner, F.; Der Bauingenieur 39 (1964) 138 – 148
7. Schwenk, W.; 3R international 38 (1999) 802 – 805
8. Schiffmann, L.; bbr 48 (1997) H. 12 S. 23 – 28
9. Hohoff, A.; Radtke, E.; Schwenk, W.; Wolf, W.; gwf-wasser/abwasser 125 (1984) H. 2 S. 57 – 65
10. Wendland, E.; gwf-wasser/abwasser 129 (1988) 567 – 571
11. Bolzer, E.; aktuell (1998) H. 4a S. 13 – 16
12. Bruins, J.; Maurer, W.; 42 (1989) 464 – 467
13. Hofmann, O.; Meißen, F.; ndz (1991) H. 8. S. 332 – 335
14. Künzler, R.; Schwenk, W.; gwf-wasser/abwasser 127 (1986) H. 1 S. 11 – 15
15. Völkel, M.; Dissertation, RWTH Aachen 1993
16. Völkel, M.; Blachnik, B.; Maurer, W.; Reichert, J.K.; gwf-wasser/abwasser 136 (1995) H. 4 S. 211 – 216
17. DE 196 104 03 Thyssen Guss AG 1996
18. DE 195 24 761 C1 Buderus Guss GmbH 1995
19. Nissing, W.; Klein, N.; bbr 47 (1996) H. 2 S. 26 – 31
20. Holtschulte, H.; Heinrich, B.; Schwenk, W.; gwf-wasser/abwasser 131 (1990) 317 – 325
21. Schwenk, W.; gwf-wasser/abwasser 132 (1991) 504 – 509
22. Gierig, M.; Schretzenmayr, G.; Schwenk, W.; gwf-wasser/abwasser 135 (1994) 573 – 580
23. Igelbrink, E.A.; DVGW-Schriftenreihe Nr. 64, S. 257 – 275 Wasserfachliche Aussprachetagung Berlin 1989

Normative Verweise

- DIN EN 545
- DIN 1045
- DIN 2460
- AWWA C 205
- DVGW Arbeitsblatt W 342 (zurückgezogen)
- DVGW Arbeitsblatt W 344 (zurückgezogen)
- DIN 2614
- DIN EN 10298
- DIN 2880
- DIN 4279 Teil 1
- DIN 4279 Teil 3
- DVGW Arbeitsblatt W 302
- DVGW Arbeitsblatt W 347
- DVGW Arbeitsblatt W 291
- DVGW Arbeitsblatt W 346



**SALZGITTER
MANNESMANN
LINE PIPE**

Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH
In der Steinwiese 31 | 57074 Siegen
Telefon: 0271 691-0 | Telefax: 0271 691-299
info@smlp.eu | www.smlp.eu

Sonderdruck aus
Werkstoffe und Korrosion,
Ausgabe 8/2002
WILEY-VCH Verlag
GmbH & Co. KG a.A.,
Weinheim



PRO AQUA STAHLROHRE
Jedem Druck gewachsen