

Fachtagung Wasser am 12.11.2015 Vaduz

Reservoir - Sanierungen wie vor 100 Jahren

Leitfaden, Materialien, Altbewährtes entdecken, chemische Prozesse

Andreas Stahl, Aquazem GmbH, Spezialbaustoffe für Trinkwasserbehälter, D-88353 Kißlegg, www.aquazem.de

Wasser und Beton – eine nicht unkomplizierte Partnerschaft. Leitfaden für Wasserversorger für systematisches Vorgehen. Betriebssicherheit durch hygienische und dauerhafte Oberflächen. Risiken und Lösungen bei Sanierungen. Geeignete Materialien und erforderliches Fachwissen; Praxisbeispiele konventioneller Verarbeitung für eine Rückkehr zu Bewährtem. Qualitätskontrolle. Ergebnisse aus der Forschung und deren Umsetzung werden diskutiert.

Die Speicherung von Trinkwasser war und ist eine Voraussetzung für die Zivilisation. Mit der derzeitigen Klimaveränderung gewinnt die Wasserspeicherung weiter an Bedeutung. Wenn die Trockenperioden länger werden, sind mehr bzw. größere Wasserspeicher erforderlich. Die Verweildauer des Wassers im Speicher wird sich durch dennoch unterschiedliche Verbrauchsspitzen erhöhen.

Zementgebundene Werkstoffe in der Instandsetzung – die Königsklasse

Die Instandsetzung von Trinkwasserbehältern aus zementgebundenen Werkstoffen ist die Königsklasse der Betoninstandsetzung, da die bauwerklichen Mängel aus hygienischen Gründen nur mit eingeschränkten Verfahren beseitigt werden können und das Bauwerk anschließend hygienisch einwandfrei und wasserdicht sein muss.

Der Großteil der heutigen Trinkwasserbehälter sind aus Beton gebaut. Bereits die Punier und Römer haben Werkstoffe verwendet die von ihren Eigenschaften her modernen zementgebundenen Werkstoffen sehr ähnlich sind.

Da zementgebundene Werkstoffe einen pH Wert zwischen 12 und 14 haben, dass Wasser dagegen zwischen pH 6,5 und pH 8, entsteht bei Kontakt ein Konzentrationsgefälle. Dies ist der Motor für Austauschreaktionen zwischen Werkstoff und Wasser. Ist das Calciumhydroxid ausgelaugt, zerfällt das CSH-Gel und der zementgebundene Werkstoff weicht auf. Dieses Konzentrationsgefälle kann nicht vermieden, aber beeinflusst werden. Je dichter der Werkstoff desto langsamer die Transportprozesse.

Es ist daher außerordentlich wichtig, dass die mit dem Wasser in Verbindung stehende Kontaktzone besonders dicht ist.

Der wichtigste Parameter mit dem man die Dichtigkeit beeinflussen kann, ist der Wasser/Zementwert (w/z Wert) insbesondere an der mit dem Wasser später in dauerndem

Kontakt stehende Grenzfläche. Herstellungsbedingt ist die Beton- bzw. Mörtelrandzone poröser als der Kernbeton/Mörtel.

Bei nicht saugenden Schalungen reichert sich das Wasser an der Grenzfläche an. Beim nachträglichen Auftrag von zementgebundenen Mörteln wird durch das Reiben und Glätten das Wasser an die Oberfläche gezogen.

Durch die Reduzierung des w/z Wertes an der Grenzfläche kann die Dauerhaftigkeit zementgebundener Werkstoffe deutlich gesteigert werden. Die Ionen wandern durch die dichtere Grenzfläche langsamer ab. Aus dem Inneren des Werkstoffes wandern die Ionen schneller nach, als sie abwandern. Dadurch wird das Alkalidepot vollumfänglich verfügbar und erhöht die Nutzungsdauer.

Die betriebssichere Werkstoffwahl

Die Betriebssicherheit eines Trinkwasserbehälters definiert sich aus der Länge eines störungsfreien Betriebes. Wasser enthält mehr oder weniger natürliche Mikroorganismen. Wenn diese Mikroorganismen nicht ernährt werden, bleiben sie unauffällig. Organische Werkstoffe bzw. Werkstoffe mit organischen Inhaltsstoffen unterliegen auch Auslaugungen. Je schneller hier bioverwertbare Stoffe verfügbar werden, desto größer ist die Möglichkeit dass sich Mikroorganismen vermehren.

Daher sind Werkstoffe, die keine bioverwertbaren Stoffe abgeben, relativ störungssicher. Anorganische Werkstoffe bieten die größte Betriebssicherheit. Dies gilt nicht nur für den Beschichtungswerkstoff selbst, sondern für alle verwendeten Materialien wie z.B. Injektionsharze, die ggf. latent und unregiert in der Substanz lagern. Polyurethane z.B. reagieren erst mit Feuchtigkeit. Verpresst man systematisch, um Undichtigkeiten zu beseitigen kann es sein, dass sich unregiertes Harz in der Bausubstanz befindet. Dies kann sich deutlich von dem im ausgehärteten Zustand geprüften und für den Einsatz im Trinkwasser zugelassenen Endprodukt bezüglich der Bioverfügbarkeit unterscheiden und zu einem Biofilm oder einer negativer Beeinträchtigung des gespeicherten Wassers führen.

Die Frage nach der Wahl des richtigen Werkstoffes für die Instandsetzung eines Trinkwasserbehälters erreicht spätestens bei einer Veränderung der Oberfläche oder des Wassers den Betreiber und Planer.

Dabei ist die Entscheidungsfindung relativ einfach:

- Was braucht das Bauwerk
- Welcher Werkstoff bietet dem Wasser ausreichenden Widerstand
- Welche Reinigungsmittel sind für die Wartung erforderlich
- Wieviel finanzielle Mittel stehen zur Verfügung.

Anstriche, einfache und organische Beschichtungen oder Auskleidungen, die keinen festen Verbund mit dem Untergrund haben, setzen ein intaktes Bauwerk voraus.

Die häufigsten Mängel sind nutzungsbedingte Festigkeitsverluste an der Oberfläche, Bewehrungskorrosion und Undichtigkeiten.

Hochdichte Zementmörtelauskleidungen haben den Vorteil, dass sie gleichzeitig Instandsetzung und Auskleidung sind. Durch sie werden die physikalischen Eigenschaften eines Bauwerkes nicht verändert und bleibt dampfdiffusionsoffen. Kombinierte Schichtaufbauten, bei der eine Dickbeschichtung ($\Rightarrow 10 \text{ mm}$) zusätzlich mit einer Dünnbeschichtung ($= < 5 \text{ mm}$) versehen werden, bergen das Risiko von Verbundstörungen und haben sich im Vergleich zu einschichtigen Systemen nicht bewährt. Außerdem sind dünn-schichtige Systeme chemisch/physikalisch unvermeidbar poröser als Dickschichtsysteme. In diesem Fall können die Ionen aus der oberen Schicht eines Dünn-schichtsystems schneller abwandern als sie aus der unteren Mörtelschicht nachwandern. Es gibt keine fachlich erkennbare Erfordernis für einen derartigen Schichtaufbau. Bei einer späteren Überarbeitung muss das Dünn-schichtsystem wieder komplett entfernt werden, wogegen Dickschichtsysteme mit hoher Verbundhaftung nur aufgeraut werden müssen.

Der verwendete Mörtel sollte korrosionsschützende Eigenschaften haben. Es werden auf dem Markt Innenbeschichtungen angeboten, die aufgrund ihrer Zusammensetzung für den Korrosionsschutz nicht geeignet sind. Dafür sind dann sogenannte Vorspritzmörtel zusätzlich erforderlich, die den Korrosionsschutz herstellen. Das führt zu unnötigen Mehrschichtdicken und Mehrkosten.

In welchem Verfahren die Materialien aufgetragen werden, ist nicht entscheidend. Alle Verfahren haben Vor- und Nachteile. Alleine das Ergebnis zählt. Es werden teils Auftragsverfahren favorisiert, die z.B. die Wasserzugabe nur über Wasseruhren an der Maschine zulassen, deren wirkliches Ziel nur die Einschränkung des Wettbewerbes ist und keine qualitativ besseren Ergebnisse bringen. Daher ist es empfehlenswert, zur Verfügung gestellte Ausschreibungstexte vor Verwendung auf sinnvolle und wettbewerbsverzerrende Forderungen zu prüfen.

Nutzungsbeschränkung zementgebundener Werkstoffe

Zementgebundene Materialien eignen sich nicht

- im Bereich von Bauwerksbewegungen,
- wenn die Trägersubstanz so mürbe ist, daß auch mechanisch unterstützte Verankerungen nicht mehr halten oder
- das Wasser stark zementsteinangreifend ist.

Zementsteinangreifende Wässer führen unvermeidbar zu vorzeitigen Aufweichungen. Der in der Trinkwasserverordnung angegebene Grenzwert von 5 mg/l Calcitlösekapazität ist kein Grenzwert für eine Werkstoffauswahl. Je dichter ein Werkstoff ist, desto beständiger ist er gegen jeden Angriff. Bedeutsam ist hier wieder die Grenzschicht, die ständigen Kontakt mit dem Wasser hat. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es auch bei den mineralischen Materialien,

die alle Anforderungen des DVGW W300 einhalten, deutliche Unterschiede bei der Dauerhaftigkeit gibt.

Selbst zementgebundene Beschichtungen, die für hohe Calcitlöse- und Auslaugungsverhalten angeboten werden, können diesen Angriffen nicht auf Dauer standhalten. Untersuchungen haben ergeben, dass die für besonders hohe Belastungen konzipierte Materialien weniger Stand hielten als Beschichtungen mit einer hochdichten Oberfläche und umgekehrtem Porositätsgefälle.

Materialien die speziell für zementsteinangreifende Wässer angeboten werden, können Tonerdeschmelzzement enthalten. Dabei besteht die Gefahr, dass sich der Aluminiumgehalt im Wasser durch Auslaugung deutlich erhöht und so zu einer Beeinträchtigung des Trinkwassers führen kann. Außerdem hat Tonerdeschmelzzement keine korrosionsschützende Wirkung für die Bewehrung.

Früher wurde bei zementsteinangreifenden Wässern die Schichtdicke erhöht und man hat die Aufweichung der Oberfläche in Kauf genommen. Die aufgeweichte Oberfläche hat die darunter liegende intakte Mörtelschicht geschützt. Die Opferschicht durfte beim Reinigen nicht entfernt werden.

Alternativen zu zementgebundenen Werkstoffen

Bei stark zementsteinangreifendem Wasser, Bauwerksbewegungen oder nicht mehr tragfähiger Bausubstanz sind PEHD Platten oder Edelstahlauskleidungen eine gute Alternative. Da aus dem Rohrnetz eingespülte Korrosionsprodukte bei Edelstahlauskleidungen zusätzliche Reinigungen erforderlich machen können, sind PEHD Platten nach Meinung des Verfassers die bessere Alternative. Unbemerkte Korrosionsprodukte können zur Korrosion des Edelstahls führen.

Dichtungsbahnen sind die günstigste Auskleidungsmöglichkeit und wurden auch über mehrere Jahrzehnte eingesetzt. Sie sind mechanisch empfindlich und können ggf. alterungsbedingt nicht repariert werden.

Drainagerohre sind für alle Auskleidungen, die keinen festen Verbund mit dem Untergrund haben, zwingend erforderlich. Bei allen Auskleidungen ohne festen Verbund zum Untergrund müssen ggf. geringe Undichtigkeiten toleriert werden.

Beschichtungen aus Epoxidharz haben den Vorteil einer sehr widerstandsfähigen Oberfläche. Problematisch ist die für die Aufbringung erforderliche Reduzierung des Wassergehaltes in der Bausubstanz, das damit verbundene Trocknungsschwinden, mögliche Blasenbildung und bioverfügbare Substanzen, wenn das Mischungsverhältnis der Komponenten und die klimatischen Bedingungen nicht exakt überall eingehalten wurden. Im Lebenszyklus sind die hohen Kosten für die Entfernung und Entsorgung zu berücksichtigen.

Fliesen werden aufgrund der Fugenproblematik nur nachrangig verwendet. Aufgrund der geringen Fugenbreite und -tiefe können keine hochdichten Mörtelfugen hergestellt werden.

Risiken bei der Instandsetzung von Trinkwasserbehältern:

Kaum jemand hat bei einer geplanten Sanierung noch genaue Kenntnis von der Erstellung des betreffenden Bauwerkes. Es war schon immer schwierig, ein dichtes Bauwerk zu erstellen. Unter Umständen musste damals schon mittels Beschichtungen nachträglich abgedichtet werden. Bei der Untergrundvorbehandlung für eine Sanierung werden diese Schichten wieder entfernt und der ursprüngliche Zustand des u.U. undichten Behälters wieder hergestellt. Ohne Kenntnis dieser Problematik kann der Behälter nach der Sanierung undicht sein. Daher ist es sinnvoll, nach der Untergrundvorbehandlung eine Dichtigkeitsprüfung durchzuführen. In diesem Stadium der Sanierung können die Undichtigkeiten direkt an der Ursache beseitigt werden. Durch Schocktrocknen besteht die Möglichkeit, undichte Stellen zu lokalisieren.

Dazu gehört auch, dass neue Mauerdurchführungen so geplant werden, dass alle umliegenden Flächen abgedichtet werden können. Bei z.B. zu nah über dem Boden geführten Rohrleitungen kann oft der Bereich unter der Rohrleitung nicht bearbeitet werden. Dies kann ebenfalls zu Undichtigkeiten führen.

Ringraumdichtungen setzen eine wasserdichte, intakte und glatte Auflage voraus. Gefüge Störungen können zu Undichtigkeiten führen. Die durch Kernbohrung ggf. durchschnittene Bewehrung muss dauerhaft gegen Korrosion geschützt werden. Auf Seiten der Wasserkammer und Rohrkeller gesetzte Ringraumdichtungen können zu unerwünschten wassergefüllten Hohlräumen führen. Ringraumdichtungen sollen daher immer Wasserkammerseitig und nur einseitig eingebaut werden. Durch das in etwa preisgleiche Eingießen von Rohrleitungen wird die durchschnittene Bewehrung gleichzeitig dauerhaft vor Korrosion geschützt, setzt aber einen ringsum wasserdicht verschweißten Mauerflansch mit mind. 5 cm Höhe als physikalische Barriere voraus, da der zementgebundene Werkstoff mit Metall keine dichte Verbindung eingeht. Um Undichtigkeiten durch das Schwinden des Mörtels vorzubeugen, kann ein wasserkammerseitig anbetonierter Vorsatz Abhilfe schaffen. Das wasserdichte Eingießen von Rohrleitungen ist eine oft unterschätzte anspruchsvolle Tätigkeit.

Edelstahlteile, die in Beton eingegossen werden, werden durch den hohen pH Wert des Betons im Potential aufgewertet. Dadurch können Potentialdifferenzen z.B. zur Bewehrung entstehen, die Ionenwanderungen mit der Folge von Materialschädigungen am zementgebundenen Werkstoff verursachen können. Eine trennende Beschichtung der Edelstahlteile z.B. durch Epoxidharz im Bereich der Kontaktfläche zum Beton schafft Abhilfe.

Nachträgliche Befestigungen von Einbauteilen durch einfache Verdübelungen können zu Undichtigkeiten führen, wenn das Bohrloch eine Gefügestörung trifft. Daher sind grundsätzlich wasserdichte Verdübelungen vorzusehen. Die auf dem Markt verfügbaren Klebesysteme sind häufig nicht wasserdicht und nicht für den Trinkwasserbereich geprüft und zugelassen. Alternativ gibt es zugelassene Gewindestifte mit Dichtplatten, bei denen das Bohrloch über eine angepresste Dichtung abgedichtet wird.

Eingriffe in die statisch wirksame Substanz der Bauwerke erfordern umsichtiges Planen. In der Vergangenheit wurden bereits Spannlitzen in Spannbetonbehältern durch Kernbohrungen durchbohrt und es sind Behälter nach Kernbohrungen um vorhandene Rohre gerissen, bei denen die Existenz der im Plan angegebenen Bewehrung nicht überprüft wurde. Genauso wurden Fugenbänder insbesondere im Bereich der Grundablaßrohre unbedacht durchbohrt. Die dadurch entstehenden Schäden können zu erhebliche Mehrkosten bis zur Untauglichkeit des betroffenen Bauwerkes führen.

Viele unerwartete Ereignisse während einer Sanierung können aber vermieden werden. Zum einen durch eine qualifizierte Zustandsanalyse und durch gut geschulte, erfahrene Fachleute bei Planern und Ausführenden. Es reicht für einen Fahranfänger nicht, die Straßenverkehrsordnung zu studieren, um fahren zu können. Genauso wenig reicht es für Planer und Ausführende, Regelwerke und Normen zu studieren um sachkundig zu werden. In Regelwerken kann nicht alles geregelt werden und sie hinken zwangsläufig dem Stand der Wissenschaft und Technik hinterher. Clausewitz brachte es auf den Punkt: „Regeln sind lediglich die Krücken, die Nachahmern helfen, weiterzuhumpeln“. Aufgrund des Nischenmarktes gibt es nur wenige Planer, die ständig mit der Sanierung von Trinkwasserbehältern beschäftigt sind.

Ein Beispiel aus der Praxis verdeutlicht die Problematik. Ein Planer hat bei einer Zustandsanalyse einen Bohrkern aus der Dehnfuge entnommen, um deren Aufbau festzustellen. Er ging davon aus, dass die Bewegungen abgeschlossen sind und diese starr verschlossen werden können. Bedauerlicherweise hat man beim Bau die Bodenplatten mit Melaminharzplatten abgestellt. Durch die Wasserlast hat sich die Bodenplatte wieder bewegt wobei der starre Verschluss riss. Durch den Riss entstand nun eine direkte Verbindung zwischen Trinkwasser und den für Trinkwasserbehälter ungeeigneten Werkstoff Melaminharz was sich durch extremen Geruch bemerkbar machte. Die Folge war 6 Jahre nach der Sanierung ein kompletter Ausbau und Erneuerung der Dehnfugen am gesamten Boden. Auch daran ist zu erkennen, dass alle verwendeten Werkstoffe die beim Bau oder Sanierung eines Wasserbehälters verwendet werden, für den direkten Kontakt mit Trinkwasser geeignet sein sollen, auch wenn momentan kein erkennbarer Kontakt entsteht.

Zustandsanalysen – Qualitätssicherung im Vorfeld

Zustandsanalysen sind ein wirksames Instrument, bereits i, Voraus Qualitätssicherung zu betreiben. Entscheidend ist hier der Prüfungsumfang, der verantwortungsvoll abgewägt werden sollte.

Bei einigen Zustandsanalysen wurde aus Kostengründen an der Anzahl der Prüfungen gespart. Das Ergebnis war, dass die wenigen Prüfungen nicht repräsentativ waren und nachträglich Mehrkosten entstanden sind.

Gerade bei Haftzugprüfungen sind großzügige Prüfungen wichtig, da ein vorhandener Putz inhomogen haften kann. Häufig haften 70 % gut und 30 % ungenügend. Diese Verbundstörungen lassen sich meist nicht eingrenzen.

Genauso ist es sinnvoll, für die Ermittlung der Gefällesituation zwischen höchsten und niedrigsten Punkt mehrere Bohrkerne dazwischen zu entnehmen, um z.B. Deformierungen in der Bodenplatte zu lokalisieren.

Auch das elektrische Umfeld eines Behälters ist von Bedeutung. Untersuchungen in Trinkwasserbehältern haben gezeigt, dass durch die elektrischen Anlagen (z.B. Pumpen, Transformatoren) verursacht an der Stahlbewehrung elektrische Spannungen messbar sind, die von Gleichspannungen bis zu hochfrequenten Wechselfspannungen reichen. Prinzipiell sind den daraus resultierenden elektrischen Spannungen Ionenwanderungen möglich, die zum Teil sehr kurzfristig den zementgebundenen Werkstoff schädigen können. Vertiefende Untersuchungen sind aufgrund von beobachteten Schäden in der Praxis derzeit im Gange. Auffällig ist die örtliche Nähe nichtlineare Verbraucher ohne Netzfilter z.B. drehzahlgesteuerten Elektromotoren und Trafostationen.

Ergänzend zu den Anforderungen einer Zustandsanalyse Tabelle 1 – 4 DVGW W300 Teil 3 sind folgende Parameter für eine Zustandsanalyse wichtig:

- Große chemische Wasseranalyse am Einlauf und der Entnahme (bei üblicher Verweildauer des Wassers im Behälter) um eventuell stattfindende Reaktion des Wassers im Behälter festzustellen; Prüfung und Beurteilung auf Materialverträglichkeit. Ggf. erweiterbare Prüfung bei schwankenden Wasserqualitäten über die Wasserqualitäten der letzten 3 Jahre.
- Konsequentes, systematisches Abklopfen aller Innenflächen auf Hohlstellen; auch im Beton selbst können Hohlstellen vorkommen.
- Bohrkernentnahme an allen Bauteilen zur Feststellung des Substanzaufbaus und deren jeweiligen Schichtstärke
- Haftzugprüfungen an allen Flächen an gesamten Substanzaufbau hindurch und bei Versagen an den einzelnen Schichten insbesondere auch am Trägerbeton selbst.
- Druckfestigkeit z.B. mit dem Schmidt'schen Hammer sind in der Regel ausreichend. Bei grenzwertigen Ergebnissen sollten Bohrkernentnahmen und Untersuchungen im Labor erfolgen.
- Feststellen der vorhandenen Bewehrung im Bereich von geplanten Kernbohrungen und statische Beurteilung
- Untersuchung und Analyse der vorhandenen Werkstoffe auf Schadstoffe und Entsorgbarkeit (Umwelt- und Kostenrelevant)
- E-Modul aller Bauteile
- Ursache und Bewegung von Rissen (z.B. durch starre Mörtel- oder Glasbrücken mit anschließender Belastung aller Betriebszuständen)
- Tiefenprofil Calciumhydroxid- und Calciumcarbonatgehalt an allen Bauteilen; Referenzprobe oberhalb des Wasserspiegels
- Gesamtporosität und Porengrößenverteilung der wasserbenetzten Bauteile
- Zuordnung der zu entsorgenden Werkstoffe zu den Abfallklassen z.B. nach LAGA M20

- Überprüfung des elektrischen Umfeldes auf Schadströme, die Wasserbehälter zu ungewollten Batterien verwandeln.

Trotzdem verbleiben Restrisiken wie Fremdstoffe, Mehrschichtdicken oder Abdichtungsarbeiten, die sich erst während der Bauausführung zeigen. Da ist es sinnvoll, wenn der Planer in der Kostenschätzung und im Leistungsverzeichnis über entsprechende Positionen für finanziellen Puffer gesorgt hat.

Qualifikation und Kontrolle von Fachfirmen

Mit der Zertifizierung der Fachunternehmen für die Instandsetzung von Trinkwasserbehältern nach DVGW W316 wurde ein deutlicher Qualitätssprung erreicht. Trotzdem gibt es auch bei zertifizierten Firmen Qualitätsunterschiede.

Ein effektives Mittel zur Erreichung der gewünschten Qualität ist eine Qualitätskontrolle, in der entnommene Bohrkerne der fertigen Beschichtung auf festgelegte Parameter untersucht werden. Das setzt voraus, dass die qualitätsrelevanten Parameter vorher definiert werden. Ein Beispiel für eine Ausschreibung nach Eigenschaften finden Sie im Anhang 1.

Für eine sinnvolle Qualitätskontrolle sollte man 2 % bis 5 % der Bausumme an Kosten kalkulieren. Häufig werden Grundprüfungen der Mörtel als Qualitätskontrolle ausgeschrieben, die weder machbar noch zielführend sind.

Manche Betreiber haben eine Abneigung, an der frisch hergestellten Oberfläche Bohrkerne entnehmen zu lassen. Man kann die Entnahmestellen so positionieren, dass sie nicht dominieren. Die Entnahmestellen können fachlich so verschlossen werden, dass qualitativ kein Unterschied zur restlichen Beschichtung besteht.

Das Spritzen von Prüfkörpern hat sich nicht bewährt. Zum einen weiß derjenige, der den Prüfkörper herstellt, dass nur dieser geprüft wird. Geschuldet ist die Qualität aber an allen Flächen. Zum anderen haben Prüfkörper ein anderes physikalisches Verhalten und können auch darum zu anderen Ergebnissen führen.

Das Entnehmen von Reservekernen ist wichtig, da z.B. bei Ausreißern oder bedingt durch die Prüfverfahren Nachprüfungen erforderlich sein können.

Eine aussagefähige Qualitätskontrolle ist im Anhang 2 aufgeführt.

Warum haben die alten Auskleidungen, die man vor 100 Jahren hergestellt hat, eine deutlich längere Nutzungsdauer als „moderne“ Mörtel?

Das liegt an der anfangs beschriebenen Ausbildung der Grenzfläche der Mörtelschichten. Portlandzement reagiert chemisch mit Wasser unter Bildung sogenannter Hydratphasen, die den Zementstein aufbauen. Überschüssiges Wasser bleibt ungebunden im erhärteten Zementstein zurück und bilden so ein wassergefülltes Kapillarporennetz. Beim Bearbeiten

der Oberfläche durch Reiben und Glätten auch von hochdichten Mörteln wird unvermeidbar das Wasser an die Oberfläche gezogen. Dadurch erhöht sich in der Grenzschicht der w/z Wert. Die Transportprozesse durch das Konzentrationsgefälle zwischen pH 7 vom Wasser und pH 13 vom Zementmörtel laufen dadurch schneller ab, als im hinteren Teil der Mörtelschicht. Die Oberfläche „verhungert“, weil die Ionen aus dem hinteren Bereich des Mörtels nicht schnell genug nachwandern.

Früher hat man die frisch geriebenen Mörteloberflächen mit einem Zementglattstrich versehen. Dadurch wurde die Grenzfläche dichter. Neben einer besonders glatten Oberfläche entsteht eine Art Membrane, die die Ionen langsamer abwandern lässt, als sie folgen.

Der Mörtel muss für diese Oberflächenvergütung konzipiert sein. Man verwendet heute speziell behandelte Zementgemische um die positiven Eigenschaften verschiedener Komponenten an der Oberfläche zu vereinen und Inhomogenitäten zu vermeiden.

Mit dem Wissen unserer Vorfahren, aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und der Anwendung aller bekannten Faktoren aus der Gegenwart können wir in Zukunft einen Beitrag zur Sicherheit einer wesentlichen Komponente der Trinkwasserversorgung leisten.

Anhang 1: Beispiel für eine Ausschreibung nach Eigenschaften:

Zementgebundene Beschichtung Typ 1 DVGW W300-4
ohne Betonzusatzmittel und ohne kunststoffhaltige Zusätze
Werkstoffeigenschaften zur Sicherstellung der
hygienischen Eignung

- Eignung für den ständigen Kontakt mit Trinkwasser durch gültiges Prüfzeugnis nach DVGW W 347
- Gesteinskörnung frei von schädlichen Bestandteilen zur Vermeidung negativer Auswirkungen auf die hygienischen, chemischen, physikalischen und optischen Eigenschaften nach DIN EN 12620
- Gehalt an leichtgew. org. Verunreinigungen = 0,0 M.-% (Anhang G4)
- Frei von Eisensulfidteilchen, die braune Flecken bilden (Nachweis durch DIN EN 1744 Abs. 14.1)
- Zementmörtelauskleidung ohne organische Zusatzstoffe TOC < 0,05 Gew.-%

Bestandteile des Mörtels zur Erhöhung der chemischen Widerstandsfähigkeit

- Calcitische Gesteinskörnung zur Pufferung bei lösenden Angriffen.
Carbonatgehalt des ausgehärteten Mörtels > 40 M.-%
- Zement CEM I (DafStb Instandsetzungs-Richtlinie Teil 1 Abschnitt. 6.4.2 Abs.7)

Eigenschaften zur Erhöhung des physikalische Widerstandes

- Statischer E-Modul nach DIN 1048-5 < 25.000 N/mm² und kleiner als der zu beschichtende Untergrund
- Gesamtporosität, Bereich im Inneren der Mörtelschicht (4-15 mm) 28d < 12,0 Vol.% oder 90d < 10,0 Vol.% (Quecksilberdruckporosimetrie nach DIN 66133)
Das Gesamtporenvolumen in der Grenzschicht (0-3 mm) sollte => 1 % geringer sein als das in der darunter liegenden Mörtelschicht (4-15 mm).
- Porenradialen Verteilung 70 % Anteil an

- Gesamtporosität durch Poren $< 0,1 \mu\text{m}$
- Größtkorn 3 mm
- Haftzugfestigkeit nach DIN EN 1542 i.M 1,5 N/mm² kl. Einzelwert. $> 1,0 \text{ N/mm}^2$ (DafStb RiliSIB)
- Wassereindringtiefe in Anlehnung an DVGW W300 6.6.1.1 im Verhältnis zur Schichtdicke $< 2 \text{ mm}$; Prüfverfahren in Anlehnung an DIN 1048 an Bohrkernen.
- W/Z-Wert nach DIN 1048-1 $< 0,48$
- Schichtdicke 15 mm +/- 5 mm im Mittel jedoch $> 15 \text{ mm}$

Oberflächentextur:

- Struktur ansatzfrei geglättet; Ebenheit $< 0,2 \text{ mm}$ bezogen auf Bohrkern Durchmesser 50 mm
- Farbe grau marmoriert
- Porigkeit $\leq 10 \text{ mm}^2$ bezogen auf Bohrkern $\varnothing 50 \text{ mm}$

Anhang 2 Qualitätskontrolle:

Position	Prüfung	Bauteil						Anforderung
		Decke	Wand	Stütze	Boden	< 250 m ²	je weitere angefangene 250 m ²	
1	Bestandteile des Mörtels zur Erhöhung der chemischen Widerstandsfähigkeit							
1.1	Calciumcarbonatgehalt		X	X	X	1	1	Ermittlung des Gehaltes
1.2	Calciumhydroxidgehalt		X	X	X	1	1	Ermittlung des Gehaltes
2	Eigenschaften zur Erhöhung des physikalische Widerstandes							
2.1	Gesamtporosität in der wasserberührten Grenzschicht (0-3 mm) einschl. Porenradienverteilung		X	X	X	1 + 1 RP	1 + 1 RP	Das Gesamtporenvolumen in der Grenzschicht (0-3 mm) sollte => 1 % geringer sein als das in der darunter liegenden Mörtelschicht (4-15 mm) Porenradien Verteilung 70 % Anteil an Gesamtporosität durch Poren <0,1 µm
2.2	Gesamtporosität im Inneren der Mörtelschicht (4 -15 mm) einschl. Porenradieverteilung		X	X	X	an BK von 2.1	an BK von 2.1	Gesamtporosität, Bereich im Inneren der Mörtelschicht (4-15 mm) 28d < 12,0 Vol.% oder 90d < 10,0 Vol.% (Quecksilberdruckporosimetrie nach DIN 66133) Porenradien Verteilung 70 % Anteil an Gesamtporosität durch Poren <0,1 µm
2.3	Haftzugfestigkeit		X	X	X	2 + 2 RP	2 + 1 PR	Haftzugfestigkeit nach DIN EN 1542 i.M 1,5 N/mm2 kl. Einzelwert. > 1,0 N/mm2
2.4	Wassereindringtiefe		X	X	X	1	0	Wassereindringtiefe in Anlehnung an DVGW W300 6.6.1.1 im Verhältnis zur Schichtdicke < 2 mm; Prüfverfahren in Anlehnung an DIN 1048 an Bohrkernen.
3	Oberflächentextur							
3.1	Schichtdicke		X	X	X	1	1	Schichtdicke 15 mm +/- 5 mm im Mittel jedoch >15 mm
3.2	Ebenheit/Rauheit	X	X	X	X	1	1	Struktur ansatzfrei geglättet; Ebenheit < 0,2 mm bezogen auf Bohrkern Ø 50 mm
3.3	Porigkeit		X	X	X	1	1	Porigkeit ≤ 10 mm2 bezogen auf Bohrkern Ø 50 mm