

# Mit kontrolliert wasserabführender Schalungsbahn (CPF) erstellte Trinkwasserbehälter: Untersuchung der Wasserkammern nach 15 Jahren Betriebszeit

## Wasserversorgung, Trinkwasserbehälter, Ortbeton, Schalungsbahn, porenarme Oberfläche, Porosität, Quecksilberdruckporosimetrie

Gemäß DIN EN 1508 und DVGW Arbeitsblatt W 300 müssen die Innenflächen von Wasserkammern aus hygienischen Gründen so glatt und porenfrei wie möglich sein. Das kann durch hochwertige Betonherstellung erreicht werden, z.B. Vakuum-Beton für die Sohle und mittels Schalungsbahnen für die meist über 5 m hohen Wände und Säulen, so dass Beschichtungen und Auskleidungen nicht notwendig sind. Die spezielle Anforderung eines porenarmen Betons ohne Lunker- oder Kiesnest-Bildung an den Wandflächen durch eingeschlossene Luft hat zur Entwicklung einer Schalungsbahn, wie z. B. Zemdrain®, geführt, die seit fast 20 Jahren eingesetzt wird. Sie besteht aus einem Drain-Vlies aus feinen Polypropylen(PP)-Fasern, wodurch beim Betonieren Luft und überschüssiges Anmachwasser herausgefiltert wird und eine verbesserte Betonoberfläche entsteht. An drei zufällig ausgewählten Trinkwasserbehältern wurde an einer trinkwasserbeaufschlagten Stelle jeweils ein Bohrkern von einer mit Schalungsbahn erstellten Wandfläche gezogen und insbesondere hinsichtlich der Gesamtporosität untersucht. Schalungsbahnen führen zu einer deutlichen Verbesserung der Porosität in der oberflächennahen Betonzone gegenüber einer normalen Ortbeton-Ausführung. Es kann postuliert werden, dass diese das wirtschaftliche Mittel der Wahl für eine porenarme Betonoberfläche in Trinkwasserbehältern sind.

## 1. Anforderungsprofil an Innenflächen von Wasserkammern

Oberflächensysteme müssen so ausgeführt sein, dass die Bedeutung und der Wert des Lebensmittels „Wasser“ hervorgehoben werden. Gemäß DIN EN 1508 [1] müssen für die von dem gespeicherten Wasser benetzten Oberflächen „Materialien verwendet werden, die entsprechende Prüfungsanforderungen erfüllen und die verhindern, dass das gespeicherte Wasser den EU-Richtlinien oder EFTA-Vorschriften nicht entsprechen kann. Beton- und Zementmörtel erfüllen im Allgemeinen diese Auflagen, besondere Sorgfalt muss jedoch auf den Einsatz von Zusatzmitteln verwendet werden. Um eine spätere Reinigung zu erleichtern und Bakterienwachstum zu vermeiden, müssen die Innenflächen so glatt und porenfrei wie möglich sein. Das kann durch hochwertige Betonherstellung oder durch Anwendung von geeigneten Beschichtungen oder Auskleidungen erreicht werden“.

Auch der DVGW Deutsche Vereinigung für das Gas- und Wasserfach e.V. hat in seiner Technischen Regel Arbeitsblatt W 300 „Wasserspeicherung“ [2] folgende Anforderungen zu Innenflächen von Wasserkammern (Bild 1) niedergeschrieben: „Für die Reinigung der Innenflächen von Wasserkammern ist es besonders wichtig, dass sie glatt und möglichst porenfrei sind. Raue Oberflächen, Kiesnester und Poren ermöglichen das An- und Ablagern von Stoffen, die das Keimwachstum fördern können. Wasserundurchlässiger und möglichst porenfreier Beton bedarf in der Regel keiner weiteren Maßnahme der Oberflächenbehandlung oder Innenauskleidung.“

Die Ausführung einer porenarmen Stahlbetonoberfläche [3; 4; 5] sollte deshalb bevorzugt angewendet werden.

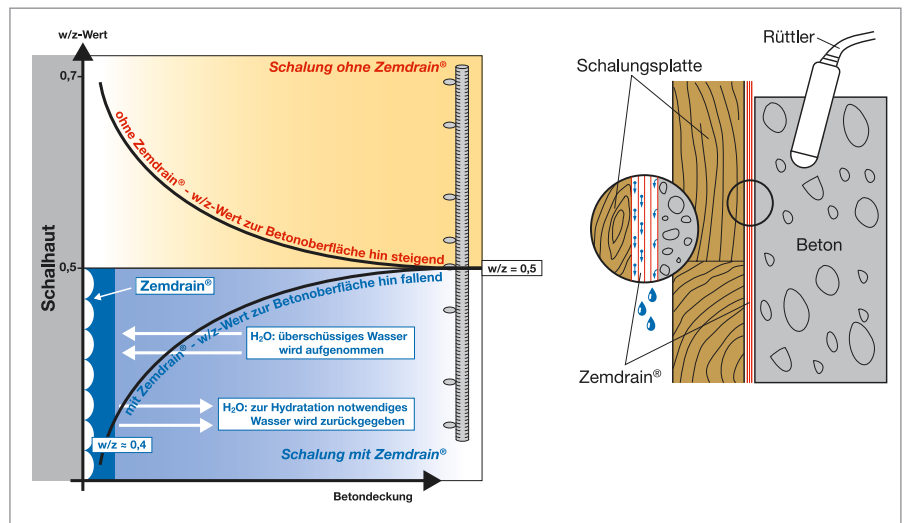


**Bild 1:** Trinkwasserbehälter älterer Bauart – Innenansicht

## 2. Porenarme Stahlbetonoberfläche mit Schalungsbahnen

Bei Bauwerken aus Beton stellt die Betonoberfläche eine Schwachstelle dar. Häufige Ursache hierfür ist eine zu geringe Qualität des Randbetons, weshalb z.B. Lunker oder Wachstum von Mikroorganismen auf karbonatisiertem offenporigem Beton auftreten können. Ursachen hierfür sind unterschiedliche Gründe: Die Schalung ist meist wasserundurchlässig, weshalb die eingeschlossene Luft und das überschüssige Wasser, das beim Verdichten zur Schalung strebt, an der Berührungsfäche zwischen Schalung und Beton angesammelt werden. Lunker, Mikrorisse und eine porenhaltige Betonoberfläche sind eine sichtbare Folge. Bei der Verdichtung, die für einen guten Beton wichtig ist, wird das überschüssige Wasser durch die Rüttelenergie in die Randzone transportiert, die dann zwangsläufig durch den hohen w/z-Wert einen Beton mit schlechterer Qualität enthält, was für alle Betonmischungen gilt. Die Lebensdauer von Betonkonstruktionen hängt im hohen Maße von den Eigenschaften der Betonrandzone ab, weil diese die erste „Verteidigungslinie“ bildet. Spezielle Schalungssysteme mit Produktnamen wie AGEPAN, MAGNOPLAN, BETOPLAN, ZEMDRAIN® dokumentieren die Entwicklung von der glatten Holzschalung, wenn man einmal von Stahlschalungen absieht, weg zu Schalungsbahnen. Nicht ohne Grund heißt es deshalb im DVGW-Arbeitsblatt W 300, Absatz 6.7.1: „Die Schalungsoberflächen sind so auszuwählen, dass sämtliche Innenflächen der Wasserkammern glatt und möglichst porenfrei werden. Wasserabführende/-saugende Schalungsbahnen aus Kunststoffvlies müssen faltenfrei und unverschieblich auf den Schal tafeln befestigt werden. Sie sollten nach jedem Betoniervorgang erneuert werden, weil ihre Wirksamkeit bei weiteren Einsätzen nachlässt“.

Beispielhaft sei die Wirkung der ZemdRAIN® Schalungsbahn (Warenzeichen von Marktführer DuPont) beschrieben, die es in den Materialtypen MD oder Classic als Drainvlies aus feinen Polypropylen (PP)-Fasern mit beidseits unterschiedlicher Oberfläche und kontrollierter Durchlässigkeit gibt. Aufgebracht auf die Schalung, filtert das Faservlies bevorzugt durch die Schwingungen des Rüttlers beim Betonieren überschüssiges Anmachwasser aus der



**Bild 2:** Funktionsweise wasserabführender ZemdRAIN®-Schalungsbahnen für hohe Ansprüche beim Randbeton

Betonoberfläche (Bild 2). Auf der strukturierten Außenseite des Vlieses zur Schalung hin wird Luft und überschüssiges Wasser gesammelt und abgeleitet, während die Vlies-Innenseite mit feineren Fasern zur Beton-Seite hin die Zementpartikel an der Oberfläche des Betons festhält und für eine dichte Betonfläche sorgt. Die Schalungsbahnen werden am Fußpunkt unter der aufgesetzten Schalung nach außen geführt, so dass Überschusswasser schadlos durch Schwerkraft abgeleitet werden kann, da kein Vakuumeffekt entsteht. Durch die Drainage kommt es zu einer Verdichtung von Betonfeinstteilen an der Betonoberfläche bei gleichzeitiger Reduzierung des Wasserzementfaktors im Betonrandbereich auf  $w/z < 0,4$  (Bild 2). Im Vlies gespeichertes Anmachwasser wird in den ersten Stunden der Betonhärtung an die Betonoberfläche zurückgegeben und bewirkt so eine bereits im Erstarrungsbeginn einsetzende „Nachbehandlung“ des Betons (schnellere, vollständigere Hydratation des Zements). Das Ergebnis soll ein glatter, lunkerfreier, durch verringerte Porosität sehr dichter Beton mit hoher Oberflächenhärte und Widerstandsfähigkeit sein. Typ MD ist rd. 1,7 mm dick, schalungsseitig mit speziellem Entwässerungsgitter kaschiert, ein zweimaliger Einsatz ist bei allgemeinen Bauwerken üblich, wohingegen Typ Classic (Bild 3) rd. 0,7 mm dick und für den einmaligen Einsatz empfehlenswert ist.

Bei den hohen Qualitätsanforderungen in Wasserkammern sollte aber auch bei ZemdRAIN® MD (Bild 3) nur ein einmaliger Gebrauch empfohlen/ausgeschrieben werden, wobei die Wirtschaftlichkeit zwischen beiden Materialtypen aufgrund anderer Vorzüge als gleichwertig anzusehen ist. Wird unter Verwendung von Schalungsbahnen betoniert, weist der Beton im Allgemeinen eine dunklere Farbe auf als üblich, bedingt durch die kontinuierliche Wasserabführung.



**Bild 3:** ZemdRAIN® Classic (links) und ZemdRAIN® MD (rechts)

Die beiden Typen unterscheiden sich nicht nur im Aufbau der Materialien, sondern auch in der Applizierung auf den jeweiligen Schalungstypen.

### 3. Zustandsüberprüfung dreier langjährig betriebener mit Zemdrain®-Schalungsbahnen erstellter Wasserkammern

#### 3.1 Allgemein

Bei der Verarbeitung des Stahlbetons kommt der verwendeten Schalung, dem Einsatz von Trennmitteln und dem Betoneinbau eine besondere Bedeutung zu. Im DVGW-Arbeitsblatt W 347 (Mai 2006) heißt es hierzu auch: „Die Herstellung von Betonflächen im Innern von Trinkwasserbehältern muss mit Schalungen erfolgen, die ohne den Einsatz von Trennmitteln auskommen (trennmittelfreie Schalungen, entwässernde Schalungen). Ausgeschaltete Flächen, die diese Stoffe noch aufweisen, dürfen mit dem Trinkwasser (und/oder möglichem Tropf-/Kondenswasser) nicht in Kontakt kommen“ [3].

Zemdrain®-Schalungsbahnen werden mittlerweile in dem Nischengeschäft Trinkwasserbehälter seit fast 15 Jahren eingesetzt. Dies gab Veranlassung, Wandflächen mit hydrolytischer Beanspruchung nach diesem Zeitraum einmal zu prüfen und somit nach Wasserversorgungsunternehmen und Planern zu suchen, die Anfang der 90er Jahre Behälterneubauten unterschiedlicher Größe unter Einsatz von Zemdrain® in Auftrag gaben und bereit waren, neben der Besichtigung der ausgeführten Wandflächen in einer entleerten Wasserkammer auch einen Bohrkern zur detaillierten Untersuchung (Bild 4) ziehen zu lassen, dessen Entnahme unauffällig und hygienisch wasserdicht möglich sein sollte.

Das Verschließen des Bohrloches (Bild 5) kann heutzutage unproblematisch, statt mit einer Vermörtelung sehr elegant durch einen Dichtungseinsatz (Prüfzeugnisse KTW [6], W 270 [7] vorhanden) mit Blindflanschen „DN 100“ geschehen. Die Systematik einer Behältersuche wurde deshalb weitgehend durch den „Zufall“ gesteuert: Der Hauptsitz des Lizenznehmers von Zemdrain® (Fa. Frank, Leiblfling) ist in Bayern, weshalb Reiseentfernungen innerhalb Bayerns nahe lagen, ein (etwas unüblicher) Besichtigungszeitpunkt Ende April bis Mai, die Wünsche nach einem etwas „uneinsehbaren wie auch bequemen Bohrkern-Entnahmepunkt“. Daraus resultierten drei Behälter unterschiedlicher Größenordnung mit Speicherinhalten 2 x 106 m³ (ZV WW-Gruppe P.), 2 x 500 m³ (Markt F.) und 2 x 3250 m³ (Bad W.), für die

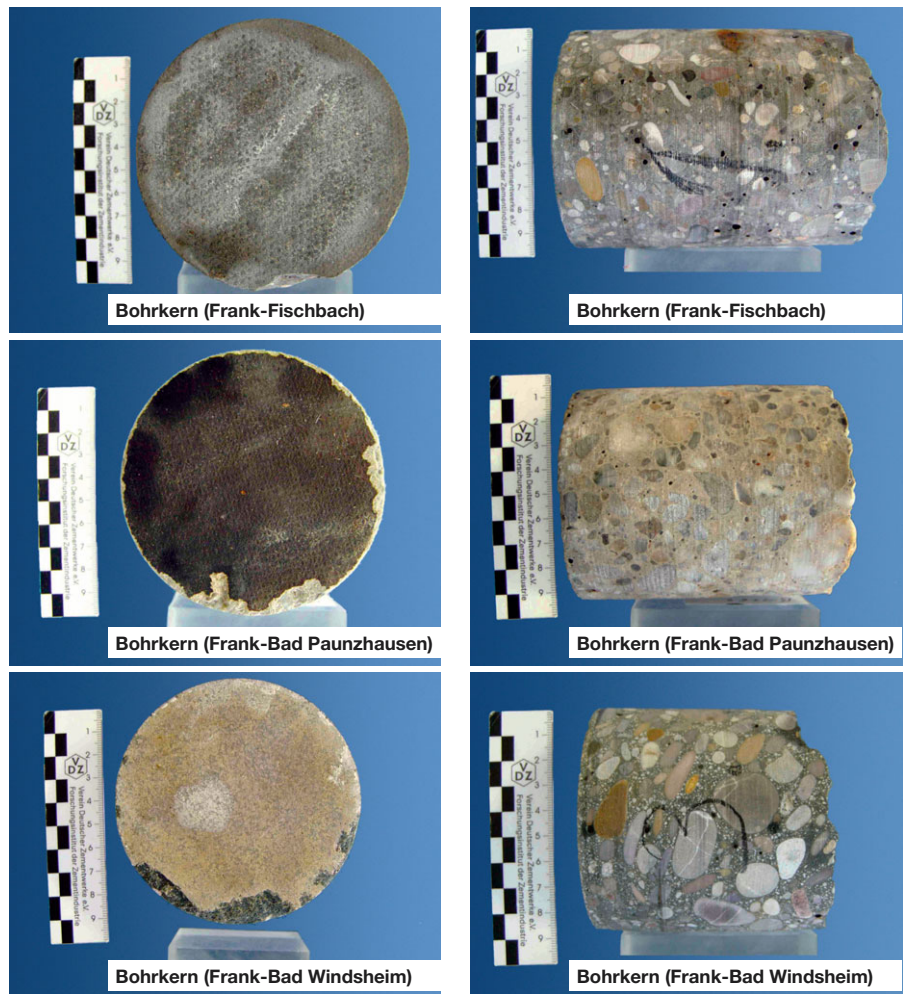


Bild 4: Bohrkerne



Bild 5: Bohrloch offen und Bohrloch geschlossen (Blinddichtungseinsatz)

aber Details zur Bauausführung zum Teil nicht mehr aktenkundig bzw. Personen und Firmen nach diesem Zeitraum nicht mehr befragt werden können.

## 3.2 Besichtigung und Bohrkernentnahme in Trinkwasserbehältern mit Zemdrain®-Wandflächen

### 3.2.1 Hochbehälter Weinturm – Stadtwerke Bad Windsheim

Der Wasserhochbehälter mit Gesamtspeichereinheit 6.500 m<sup>3</sup>, bestehend aus zwei Wasserkammern (2 x 3250 m<sup>3</sup>) mit Innen-Abmessungen jeweils 40 m lang/ 13,5 m breit/ max. 7,64 m hoch bzw. Wassertiefe 6,28-6,64 m, wurde 1993/94 von der Vertragsfirma Dyckerhoff & Widmann, NL Nürnberg, in Stahlbeton ohne Dehnungsfugen mit Wänden, Bodenplatte, Decke 40 cm, Säulen 50 cm Ø dick, in Betongüte B 35 wasserundurchlässig, Konsistenz KR, Zement HOZ 35L-NW/HS (neu CEM III/B 32,5 NW/HS), 1% Zusatz FM 25, w/z-Soll 0,45 (ein höchst moderner Beton), alle Innenflächen – Wände, Säulen mit Zemdrain®-Schalungsbahn, Boden in Vakuumbeton, Deckenuntersicht mit Sichtbetonschalung erstellt. Einem Prüfzeugnis entnehmbar für Betonwürfel 150 mm Kantenlänge mit Zementgehalt 400 kg/m<sup>3</sup>, Sieblinienbereich AB 32, beträgt die 28 Tage Druckfestigkeit gemessener Werte ohne Umrechnung an drei Proben 45/48/51 N/mm<sup>2</sup>, also über der Norm liegenden Werten.

Allgemein ist aus Wasseranalysen (neben Wasserzähler eines Großverbrauchers) ersichtlich, dass das mit einem pH-Wert 7,52 neutrale, durchschnittlich mineralisierte Wasser (570 µS/cm b. 20°C) mit Gesamthärte 16,9°dH sich im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befindet, weshalb Kalkausfällungen oder -auflösungen nicht zu erwarten sind, wie auch aus der Wasserzusammensetzung keine erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit oder Veränderung der Trinkwasserbeschaffenheit abzuleiten ist.

Aus der Zustandsüberprüfung der Wasserkammer am 25.04.2006 waren in den Wänden keine Lunker, durch das Vergrößerungsglas aber kleine Öffnungen zu sehen, die wahrscheinlich auf den Hochofenzement zurückzuführen sind; Eisen-/Mangan-Verfärbungen waren im Wasserbereich Wand/Sohle feststellbar; Manganschlamm kann bei der Behälterreinigung von der Sohle abgespült werden; chemische Reinigungsmittel wurden zeitweise verwendet. Teilweise sind Falten entlang Schalungsfugen, teilweise Risse,

beginnend von der Bodenplatte bis 4 m Höhe festzustellen, die verpresst wurden. Einige Falten sind verspachtelt mit teilweiser Ablösung. Mauerstärken sind verstöpselt und in guten Zustand. Die Decke ist im Rohzustand, allerdings sind die Schalungsplatten ersichtlich, zum Teil versetzt, ebenso teilweise erkennbar schlangenförmig verlegte Faserbeton-Abstandhalter. Der Anschluss Bodenplatte-Wand ist teilweise verspachtelt.

Der Behälter ging erst im Frühjahr 1996 in Betrieb. Insgesamt haben diese Mängel in der Ausführungsqualität keine statischen Auswirkungen, sprechen aber nicht für die Sorgfalt der ausführenden Baufirma, wenngleich dies natürlich bei den hohen Wänden (Spannen Schalungsbahnen) und hohen Schalungstürmen (Decke) vorkommen kann. An dieser Stelle sei bereits angemerkt, dass eine Behandlung (Spachtelung) von Falten im Beton nicht notwendig ist, da die Betongüte gegeben ist und der Schönheitsfehler durch Farbunterschiede erst recht auffällt. Die Kernbohrung wurde unterhalb des Bedienungsstegs in der Wasserkammer etwa 2 m von der Mittelwand-Ecke/ Pumpensumpf und ca. 1,18 m von der Bodenplatte in der Außenwand, ca. 40 cm oberhalb einer erkennbaren Betonschüttung vorgenommen.

### 3.2.2 Saugbehälter Paunzhausen – ZV Wasserversorgungsgruppe Paunzhausen, Schweitenkirchen, Kirchdorf

Der Rohwasserbehälter mit Gesamtspeichereinheit rd. 212 m<sup>3</sup>, bestehend aus zwei Wasserkammern (2 x 106 m<sup>3</sup>) mit Innen-Abmessungen jeweils 9,47 m lang/4,67 m breit/ max. 2,80 m hoch bzw. Wassertiefe 2 m, wurde 1994 in Betrieb genommen. Er dient zur Versorgung von zehn Gemeinden mit 87 Orten mit über 3000 Anschlüssen. Bautechnische Einzelheiten lagen nicht vor. Die Zustandsüberprüfung einer Wasserkammer am 15.05.06 zeigt eine absolut geschlossene Beton-Oberfläche, höchstwahrscheinlich auf Portlandzement (CEM I) oder Portlandhüttenzement (CEM II) zurückzuführen, mit optisch starken Eisen- und Manganablagerungen im Wasserspiegelbereich (Einlauf über Wasser); chemische Reinigungsmittel wurden zeitweise verwendet; keine Risse in den

Wänden, aber mit Zemdrain®-Faserreste behaftet (Zemdrain® erste Generation; unbedenklich; geprüft nach KTW [6] und W 270 [7]); zwei Falten von Boden bis Decke durchgehend; Anschluss Bodenplatte-Wand mit Mörtel 45° abgeschrägt, bei Übergang Decke-Wand nicht abgedichtet, daher Betonschlieren an der Wand; Decke roh ohne Spritzwurf, durch Querunterzug 20 x 35 in quadratische Deckenfelder geteilt; UZ ebenfalls mit Zemdrain®, hier aber Falten; Schalungsfugen teilweise mit offener Struktur. Messwerte mit dem Schmidt'schen Hammer um 41-45 lassen nach Umrechnung auf Betondruckfestigkeiten von 42-50 N/mm<sup>2</sup> schließen. Aus Wasseranalysen als Momentaufnahme ist ersichtlich, dass im Rohwasser der drei Brunnen der Grenzwert für Eisen im Brunnen II und für Mangan im Brunnen II knapp überschritten ist, dass das aufbereitete, mit einem pH-Wert 7,6, durchschnittlich mineralisierte Wasser (510 µS/cm b. 20°C) mit Gesamthärte 16,6°dH, sich im neutralen, eher kalkabscheidenden Bereich befindet. Die Kernbohrung wurde kaum sichtbar unterhalb der Einstiegsöffnung-Stirnwand etwa 1 m von der Ecke aus und ca. 1,30 m oberhalb der Bodenplatte vorgenommen.

### 3.2.3 Hochbehälter Markt Fischach

Der Wasserhochbehälter, bestehend aus zwei Wasserkammern mit 2 x 500 m<sup>3</sup> Speichereinheit mit Innen-Abmessungen jeweils 15 m lang/ 7,5 m breit/ 5,40 bis max. 8,65 m hoch bzw. Wassertiefe 4,85-5,70 m, in Stahlbeton mit (Zemdrain®-)Wänden, Bodenplatte, Decke jeweils 40 cm dick, in Betongüte B 35 wasserundurchlässig, wurde 1993 in Betrieb genommen zur Versorgung von 3000 Einwohnern. In einer Wand wurde nach Fertigstellung an einigen Stellen „Holzkohle“ festgestellt, die herausgestemmt wurde, die Stellen verspachtelt, wobei diese durch Farbunterschiede (helle Flecken) noch feststellbar sind. Das Phänomen ist in der Literatur [3] bekannt. Die Zustandsüberprüfung der linken Wasserkammer am 22.05.2006 zeigt eine geschlossene Beton-Oberfläche (wahrscheinlich CEM I), mit leichten Eisen- und Manganablagerungen im Wasserbereich Wand/Sohle; chemische Reinigungsmittel wurden zeitweise verwendet,

die Wasserkammerreinigung erfolgt üblicherweise mit Wasserdampf. Erkennbar sind auf fünf Schalungselementen Falten, Schalungsstöße teils geschlossen, teils offen und abgeschliffen. Messwerte mit dem Schmidt'schen Hammer um 42-46 lassen nach Umrechnung auf Betondruckfestigkeiten von 44-52 N/mm<sup>2</sup> schließen. Die Kernbohrung wurde in der linken Wasserkammer unterhalb des Bedienungsstegs in der Wasserkammer etwa 4 m von der Mittelwand-Ecke und ca. 1,60 m von der Bodenplatte in der Außenwand vorgenommen.

### 3.2.4 Grundsätzliches Besichtigungsergebnis

Im Allgemeinen sind die im Wasserspiegelniveau liegenden Wandflächen nach fast 15jährigen Betrieb durch mehr oder minder optisch auffällige rötlich-schwarzbraune Eisen- und Manganeinfärbungen, aber ansonsten als glatte, dichte, porenfreie Betonflächen charakterisiert, selbst wenn unter der Lupe die Struktur des Vlieses der ersten Zemdrain®-Generation manchmal erkennbar ist. Die an manchen Stellen sichtbaren Schalungsstöße, Fal-

tenbildung, können auf Anfangsschwierigkeiten in der Bauausführung zurückgeführt werden, wenngleich dies auch heute nicht auszuschließen wäre, wenn die technischen Anwendungsrichtlinien nicht ausreichend beachtet werden. Letztendlich haben diese Schönheitsfehler keine Auswirkungen, da diese Stellen dieselbe dichte Betonstruktur und -güte ohne Poren haben und keinen hygienischen Einfluss auf die Qualität des Wassers auslösen.

## 3.3 Untersuchung der Bohrkernproben von Zemdrain®-Wandflächen nach neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen

### 3.3.1 Vorbemerkung

Mineralische Anstriche / Dünnbeschichtungen (3 mm) wurden in den Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg vielfach – zumindest regional – nicht zuletzt auch wegen des Begriffs „mineralisch“, ausgeführt, wobei es einen allgemeinen Konsens zwischen Planer, Behörde und Baupraxis gab, dass dies zweckmäßig wäre – einerseits wegen der geforderten Wasserdichtheit der Wasserkammern, andererseits wegen der oft mangelhaften Bauausführung (Kiesnester im Beton) und der optischen Beeinträchtigung. Seit Anfang der 80er Jahre waren aber Schadensfälle an dünnen (3 mm) Spritzmörtel-Innenbeschichtungen von Wasserkammern in Deutschland und auch in der Schweiz zu verzeichnen [4].

Die charakteristischen Schäden bei den Beschichtungen – fleckenförmige Braunfärbung mit trichterförmiger/-m Materialaufweichung/ -abtrag, Absandungen, oder perlkettenförmige gelb-braune Streifen mit entsprechender Materialaufweichung im ständig wassergefüllten Bereich sowohl bei weißen als auch bei grauen Beschichtungen – wurden schon mehrfach beschrieben und der Wissensstand der bisherigen vom DVGW geförderten Ursachenforschung (1995-2002) zusammenfassend dargelegt [4]. In erster Linie waren/sind diese im Laufe der Zeit abgeänderten Mörtelprodukte gekennzeichnet

durch ein hohes Gesamtporenvolumen (deutlich >20 Vol.-%), damit einem niedrigen Hydrolysewiderstand und bei 3 mm Schichtstärke einer kurzen Lebensdauer bis hin zu Schadensfällen innerhalb der Gewährleistungszeit.

Aus den erarbeiteten Erkenntnissen hat der DVGW deshalb technische Anforderungen abgeleitet [2], die auch für die Ort beton-Herstellung [4] herangezogen werden können:

- Äquivalenter Wasserzementwert  $(w/z)_{eq} \leq 0,50$
- Gesamtporenvolumen nach Wasserlagerung  $P_{28d} \leq 12$  Vol.-% bzw.  $P_{90d} \leq 10$  Vol.-% (Prüfverfahren Quecksilberdruckporosimetrie DIN 66133:1993-06)
- Richtwert Prismendruckfestigkeit  $\beta_{D, 28d} \geq 45$  N/mm<sup>2</sup>.

Nun waren diese Erkenntnisse in der Baupraxis nicht Allgemeingut und entwickelten sich erst allmählich zu höheren Anforderungen hin. In den DVGW-Arbeitsblättern zum Bau von Erdbehältern bzw. Wasserbehältern wurde 1965 von B 225 mit 300 kg/m<sup>3</sup> Zement, im Jahr 1976 von Beton B II bzw. Bn 350 mit 350-400 kg/m<sup>3</sup> Zement und Wasserzementwert  $w/z < 0,60$ , im Jahr 1988 von Beton B II mit Zement von mindestens 25 N/mm<sup>2</sup> Druckfestig-

keit (B 25) und Wasserzement-Werte von höchstens 0,55, besser kleiner als 0,5, während heutzutage vom früheren B 35 bzw. C 30/37 mit Zementen (Festigkeitsklasse 32,5) und Zusatzstoff von rd. 360-380 kg/m<sup>3</sup> und  $(w/z)_{eq} \leq 0,50$  gesprochen wird. Diese ausgeführten Betone mit großzügigem Wasserzementfaktor haben eine erhöhte Porosität, so dass es also interessant ist, was eine Zemdrain®-Schalungsbahn im Betonoberflächenbereich bewirken kann, verglichen mit Gesamtporenvolumen mittels Prüfverfahren Quecksilberdruckporosimetrie. Die Bohrkern wurden zur diesbezüglichen Untersuchung an das Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf gegeben (Technischer Bericht TB-BTe B 2000-Frank/2006), nicht zuletzt deshalb, weil zahlreiche Bohrkern von ausgeführten zementgebundenen Beschichtungen ebenfalls zur Untersuchung mit diesem Quecksilberdruckporosimeter bis 2000 bar entsprechend DVGW-Arbeitsblatt W 300 gelangten [4] und eine direkte Vergleichbarkeit gegeben ist.

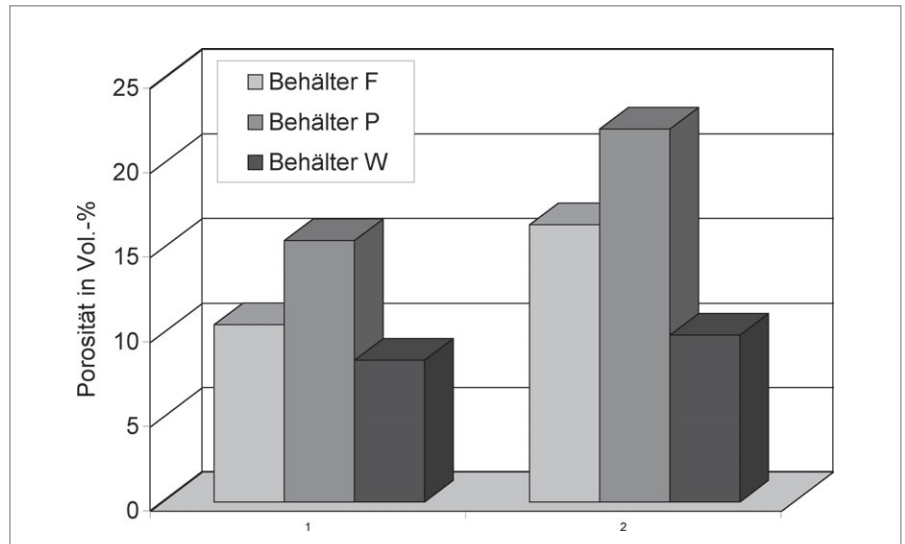
### 3.3.2 Untersuchungsergebnisse

Gezogen wurden drei „100er Bohrkern“, charakterisiert in der Kennzeichnung Durchmesser/Höhe: 1-F 93,6/119 mm; 2-P 93,5/111 mm; 3-W 94,4/88 mm, an denen die

- Rückprallkennwerte mittels Sklerograph an der Bohrkernprobe
- Rückprallkennwerte mittels Sklerograph an einer oberflächennahen Teilprobe und an einer Probe aus dem unteren Bohrkernbereich
- Wasseraufnahme nach DAfStb-Heft 422 an einer oberflächennahen Teilprobe und an einer Probe aus dem unteren Bohrkernbereich
- Schädigungstiefe an der oberflächennahen Teilprobe
- Gesamtporosität an einer oberflächennahen Teilprobe und an einer Probe aus dem unteren Bohrkernbereich

gemessen wurden.

Interessant sind in erster Linie die beiden letztgenannten Punkte, während die vorgenannten nur eine vergleichende, aber keine absolute Beurteilung zulassen. Aufgrund des beschränkten Probenmaterials (je Bauwerk eine Probe/Bohrkern) können nur grobe Tendenzen zur Wirksamkeit von Zemdrain® angegeben werden. Die Rückprallkennwerte wurden mit dem Sklerograph bestimmt. Das Sklerograph dient üblicherweise zur nicht ortsgebundenen Härtemessung von Stahl; das Gerät wurde für die Prüfung an Beton umgebaut (eine Fallstange fällt auf die Oberfläche der Probe und springt je nach deren Härte auf eine bestimmte Höhe zurück, womit eine vergleichende Beurteilung möglich ist). Als Ergebnis der Rückprallkennwerte an der Oberfläche der Bohrkernproben (Prüfung 1) wird ersichtlich, dass tendenziell die Behälter F und W im ähnlichen Festigkeitsniveau liegen, während der Behälter P etwa eine Festigkeitsklasse niedriger liegt. Aus dem Bohrkern wurden nach Versuch 1 für die weiteren Messungen eine oberflächennahe Teilprobe (Scheibe oben) und eine Teilprobe aus dem unteren Bereich (Scheibe unten) herausgesägt (Höhe der Scheiben 15 mm). Die oberflächennahe



**Bild 6:** Ergebnisse der Quecksilberintrusionsmessungen: Porosität in Vol.-% der Teilproben 1 (Zemdrain®-Scheiben oben) und Teilproben 2 (Kernbeton-Scheibe unten)

Teilprobe „Scheibe oben“ entspricht somit der Betonoberfläche Zemdrain®, während die Teilprobe aus dem unteren Bereich „Scheibe unten“ dem normalen Beton entspricht. Die Ergebnisse für Rückprallkennwerte an einer oberflächennahen Teilprobe und an einer Probe aus dem unteren Bohrkernbereich zeigen tendenziell, dass die oberen Scheiben für Zemdrain®-Beton um bis zu 20% höhere Rückprallkennwerte (Festigkeiten) aufweisen als die im unteren Normalbeton-Bereich, d.h. dass auch damals in der Anfangszeit des Einsatzes von Zemdrain® der Vorteil eines besseren Randbetons gegeben war, was den heutigen Kenntnisstand zu Zemdrain®-Schalungsbahnen richtig widerspiegelt. Die Wasseraufnahme in Massenprozenten bzw. Vol.-% ist ein weiteres Charakteristikum für einen dichten Beton. Die Bestimmung des Volumens erfolgt durch Unterwasserwägung. Aus der Ermittlung der Wasseraufnahme nach DAfStb-Heft 422 an einer oberflächennahen Teilprobe und an einer Probe aus dem unteren Bohrkernbereich zeichnet sich ein ähnliches Ergebnis ab.

Ein weiterer Anhalt zur Qualität des Zemdrain®-Randbetons lässt sich aus einer Ermittlung der Schädigungstiefe an der oberflächennahen Teilprobe (Scheibe oben) infolge Hydrolyse ableiten. Nach Durchführung vorgenannter Untersuchungen wurden Teilproben in einer Bohrkernentnahmerichtung gespalten und die frischen Bruchflächen mit einer Indikator-

lösung aus 1%iger Phenolphthaleinlösung eingesprüht. Im pH-Wertbereich unterhalb von pH 9 schlägt die Farbe von rot-violett auf farblos um. Nachdem alle Bereiche verfärbt und somit der pH-Wert über 9 lag, konnte bei allen drei Teilproben keine Schädigung durch Hydrolyseprozesse oder durch Karbonatisierung (Bauphase) über diesen Zeitraum an der Betonoberfläche festgestellt werden. Im Anschluss an die Bestimmung der Wasseraufnahme wurden weitere Teilproben der oberflächennahen Teilprobe (Scheibe oben) und der Probe aus dem unteren Bohrkernbereich (Scheibe unten) entnommen zur Ermittlung der Gesamtporosität an einer oberflächennahen Teilprobe und an einer Probe aus dem unteren Bohrkernbereich nach DIN 66133:1993-06 „Bestimmung der Porenvolumenverteilung und der spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Quecksilberintrusion“. Der Enddruck der Messung betrug rd. 2000 bar entsprechend DVGW-Arbeitsblatt W 300, die Auswertung erfolgte unter Verwendung des zylindrischen Porenmodells. Es ist dies insofern besonders interessant, weil hier der Stand der Wissenschaft mit seinen Anforderungen [2] an eine Bauausführung vor über einem Jahrzehnt angelegt wird. Die in den Kommastellen gerundete Porosität inkl. Makroporen in Vol.-% liegt jeweils für die Teilprobe 1 (Scheibe oben Zemdrain®-Beton) / Teilprobe 2 (Scheibe unten Beton) der Behälter F bei 10/16, Behälter P 15/22, Behälter W 8/10 (Bild 6). Der mittlere Porenradius betrug hierbei

immer  $\leq 0,1 \mu\text{m}$ . Die für Auskleidungsmörtel gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 300 geforderte Unterschreitung einer Porosität von  $P \leq 12 \text{ Vol.-%}$  wird bei zwei Behältern mit den Werten 8 und 10 hervorragend unterboten („besser geht es praktisch

nicht“). Es ist daraus aber auch zu ersehen, dass die Zemdrain®-Schalungsbahn bei allen Behältern zu einer deutlichen Verbesserung der Porosität (von 20 – 50 % bezogen auf den Kernbereich) geführt hat (Bild 6).

#### 4. Zusammenfassende Bewertung – Schlussfolgerungen

Es wurden bei drei zufällig ausgewählten Trinkwasserbehältern, deren Wasserkammern mit einer vor fast 15 Jahren mit Zemdrain®-Schalungsbahnen erstellten Betonoberfläche in Betrieb sind, durch spezielle Untersuchungen belegt, dass diese die neuesten Anforderungen des Technischen Regelwerks des DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches und DIN übertrifft oder zumindest einhalten kann. Insbesondere ist hier das Gesamtporenvolumen nach Wasserlagerung  $P_{28d} \leq 12 \text{ Vol.-%}$  (Prüfverfahren Quecksilberdruckporosimetrie DIN 66133:1993-06) hervorzuheben [2]. Gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 300, Abschnitt 6.1, bedarf „wasserundurchlässiger und möglichst porenfreier Beton keiner weiteren Oberflächenbehandlung oder Innenauskleidung. Daher haben sich Trinkwasserbehälter aus Stahlbeton ohne jede weitere Beschichtung oder Auskleidung besonders bewährt“ [2]. Im Allgemeinen ist die pure Betonoberfläche auch die einfachste und preisgünstigste Lösungsvariante beim Trinkwasserbehälter-Neubau. Grundsätzlich hat ein Ortbeton, erstellt mit Schalungsbahnen, international als Controlled Permeability Formwork (CPF liner) bezeichnet, wie eingangs bzw. in [5] dargestellt, gegenüber einem Ortbeton mit sog. saugender und nichtsaugender Schalung signifikant verbesserte Eigenschaften, ist langlebiger und hygienisch empfehlenswerter; unterschiedlichste Betone werden hierbei, z.B. durch Zemdrain® soweit verbessert [5], dass die Randbetonzone als ausreichend und gut zu bezeichnen ist, auch gegenüber der hydrolytischen

Beanspruchung. All diese Vorteile haben auch dazu geführt, dass die Anwendung von CPF in den neuen „United Kingdom Guidelines“ und in den neuen „Britisch Standards“ aufgenommen wurden [5]. Selbst wenn gegen die Verarbeitungsvorschriften verstoßen wird und deshalb Unzulänglichkeiten wie vermeidbare Falten, Schalungsstöße auftreten, ist der Beton an diesen Stellen hart und porenarm, weshalb Abschleifen und Verspachtelungen unnötig sind. Wie aus den vorliegenden Untersuchungen ersichtlich, hat die Zemdrain®-Betonrandfläche signifikant verbesserte Eigenschaften gegenüber dem Kerneton (Bild 6), obwohl dieser bereits gute Eigenschaften aufweist, wie auch aus den Bohrlöchern und Bohrkerne optisch ersichtlich wird. Das nach fast 15jähriger Betriebsdauer nach wie vor sehr dichte Wandoberflächengefüge ohne irgendwelche Absandungen oder hydrolytische Abnutzungserscheinungen dürfte daher auch über die nächsten Jahrzehnte baulich und betrieblich seine Dienste tun. Wenn die technischen Anwendungsrichtlinien beachtet werden, ist das gewünschte Ergebnis einer glatten, dichten, porenarmen Stahlbetonoberfläche sicher zu erzielen. Aufgrund der nun fast 20jährigen allgemeinen Erfahrungen und den o. a. und in [5] ausgewiesenen verschiedenen Untersuchungen mit Zemdrain®-Schalungsbahnen kann für die Ausführung von Ortbetonbehälter postuliert werden, dass diese das wirtschaftliche Mittel der Wahl für eine porenarme langlebige Betonoberfläche in Trinkwasserbehältern sind.

#### 5. Literaturhinweise:

[1] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: DIN EN 1508 (Dezember 1998) Wasserversorgung, Anforderungen an Systeme und Bestandteile der Wasserspeicherung, Beuth-Verlag, Berlin 1998.

[2] DVGW-Arbeitsblatt W 300 (6/2005), Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Wasserbehältern in der Trinkwasserversorgung. DVGW e.V. Bonn 2005.

[3] DVGW-Arbeitsblatt W 347 (5/2006), Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung. DVGW e.V. Bonn 2006.

[4] MERKL, G.: Trinkwasserbehälter. Oldenbourg Industrieverlag, München 2005.

[5] WILSON, D.J.: Optimization of Concrete Surfaces in Service Reservoirs by use of Controlled Permeability Formwork (CPF) liner. In: Storage 2004, First International Conference on Service Reservoirs. Geneva, Switzerland, S. 157-164. IWA International Water Association and SIG Geneva Water 2004.

[6] ANONYMUS: Gesundheitliche Beurteilung von Kunststoffen und anderen nichtmetallischen Werkstoffen im Rahmen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes für den Trinkwasserbereich (KTW-Empfehlungen), 1.-6. Mitteilung, Bundesgesundheitsblatt 20 (1.+2.Mitt.), 22 (3.+4. Mitt.), 28 (5.Mitt.), 30 (6.Mitt.), (1977), S. 10-13, 56-61 u. S. 124-129, (1979), S. 213-216 u. S. 164-165, (1985), S. 371-374, (1987) S. 178; ergänzt durch Leitlinie des Umweltbundesamtes zur veränderten Durchführung der KTW-Prüfungen bis zur Gültigkeit des Europäischen Akzeptanzsystems für Bauprodukte im Kontakt mit Trinkwasser (EAS).

[7] DVGW-Arbeitsblatt W 270 (1999), Vermehrung von Mikroorganismen auf Materialien für den Trinkwasserbereich; Prüfung und Bewertung. DVGW e.V. Bonn 1999.

Veröffentlicht in GWF Wasser – Abwasser Heft 6 – Juni 2007.

### Der Autor:

Privatdozent Dr.-Ing. Gerhard Merkl, Jg. 1941, studierte, promovierte und habilitierte an der Technischen Universität München. Er war Ltd. Akademischer Direktor und Privatdozent für das Fachgebiet Wasserversorgungstechnik an der Technischen Universität München mit Lehraufträgen an der Uni Bundeswehr München und TU Berlin. Neben einer langjährigen Lehr- und Forschungstätigkeit, zwischen durch Bauindustrie- und Baustellentätigkeit (8.000 m<sup>3</sup> Trinkwasserbehälter) bei Dyckerhoff+Widmann München (KB Abtl. Bomhard), ist er auch bekannt durch die

von ihm organisierten 28 Wassertechnischen Seminare an der TU München. Ein Schwerpunkt seiner über 85 Veröffentlichungen sind Trinkwasserbehälter (Fachbücher „Trinkwasserbehälter“ und „Technik der Wasserversorgung“ Oldenbourg-Verlag). Für seine Jahrzehnte lange Mitarbeit in Gremien des DVGW, u.a. seit 1978 im Fachausschuss, jetzt Technisches Komitee TK 2.2 „Wasserspeicherung“, wurde ihm 2003 die neu geschaffene DVGW-Ehrennadel verliehen. Seit Pensionierung 2007 beratend tätig.

## FRANK | technologien für die bauindustrie

- **Faserbeton TW**  
Abstandhalter, Mauerstärken und Stöpsel
- **RepoXal TW**  
Zweikomponentenkleber
- **Zemdrain®**  
Classic und MD
- **Permur Monolith**  
Rohrdurchführungen

### Geprüft für den Trinkwasserbereich (UBA + KTW + DVGW – W270/W347)



Zemdrain® ist ein eingetragenes Warenzeichen von DuPont.



**Max Frank GmbH & Co. KG** | Technologien für die Bauindustrie  
Telefon +49 (0) 94 27 / 1 89-0 · Telefax +49 (0) 94 27 / 15 88  
info@maxfrank.de · www.maxfrank.de