

# Optimierte Betoneigenschaften durch die Verwendung der Schalungsbahn Zemdrain®: Produkt- und Funktionsinformationen, technischer Vergleich und Projektbeispiele

---

Daniel Mittermeyer, M.Eng. Bauingenieurwesen

Max Frank GmbH & Co. KG, Mitterweg 1, 94339 Leiblfing, Deutschland

## 1. Ausgangssituation

### 1.1 Nutzungsdauer eines Stahlbetonbauwerks - Einflüsse

Die Nutzungsdauer eines Stahlbetonbauwerks wird maßgeblich von der Ausführung der Betonqualität (Qualität der Betonrandzone und Betonoberfläche) beeinflusst.

#### Einflüsse auf die Betonqualität:

- Technische Einflüsse (Expositionsklassen, physikalische & chemische Belastung im Betrieb)
- Beton (Betonzusammensetzung, Transport, Temperatur)
- Baustellenbedingte Einflüsse (Betonage, Verdichten, Betontrennmittel, Bewehrung, Nachbehandlung)
- Umwelteinflüsse (Temperaturen, Witterung)
- Ausführungsdetails wie Abstandhalter, Mauerstärken und deren Verschlüsse
- Schalung (Qualität, Stoß- und Fugenausbildung, Schalhaut)

Die Betonqualität, insbesondere die der Betonrandzone und Betonoberfläche wird somit durch unterschiedlichste Faktoren beeinflusst. Das planungs- und ausführungstechnische Ziel muss es demnach sein, diese Faktoren in Einklang zu bringen, um die Qualität zu verbessern. Eine projektspezifische Optimierung der Einflüsse sollte unbedingt durchgeführt werden, damit möglichst ideale Ergebnisse im Projektverlauf realisierbar werden. Durch die Erstellung von Probeflächen vor Projektbeginn sollte unter später zu erwartenden Baustellenbedingungen die Eignung, Wechselwirkung und Qualität der Faktoren mit Auswirkung auf das Gesamtergebnis geprüft werden. Optimierungsmöglichkeiten können somit im Vorfeld identifiziert und Maßnahmen ergriffen werden, um die geplanten Eigenschaften zu erreichen.

Die Schalungsbahn Zemdrain® kann dazu beitragen, optimierte Betonqualitäten zu generieren. Hierbei muss beachtet werden, dass vor allem ein adäquater Beton bzw. w/z-Wert, geeignete Schalungen und technische Expertise durch ausgewiesenes Baustellenpersonal gegeben sind. Eine nachweisbare Verbesserung wird unter der Verwendung der Schalungsbahn Zemdrain® erreicht.

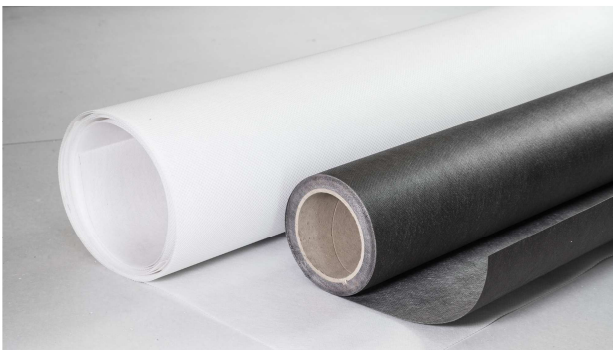


Bild 1: Ausführung Zemdrain® (links: Typ MD, rechts: Typ Classic)

## 1.2 Nutzungsdauer eines Stahlbetonbauwerks – Situation im Bereich der Betondeckung

Eine dauerhaft intakte und technisch optimiert Betonrandzone stellt die Grundlage für nachhaltige Betonbauwerke dar, da diese den Einflüssen aus der Umwelt bzw. verschiedenen Medien wie z.B. Trinkwasser oder Abwasser ausgesetzt sind.

Durch diese Einflüsse entstehen Schäden an Betonbauwerken. Bereits nach wenigen Jahren können diese Schäden soweit fortgeschritten sein, dass eine Sanierung oder eine Erneuerung der Betonrandzone notwendig wird. Begünstigt wird dies durch einen zu hohen w/z-Wert an der Betonoberfläche, was zu Lunker- und Porenbildung führt. Um Korrosion vorzubeugen, soll die Betonrandzone ein möglichst dichtes Gefüge aufweisen. Bei Brücken sind als Einflüsse Kohlendioxid, Feuchtigkeit, Wind, Sand und Chloride zu nennen. Bei Erdberührten Bauteilen kann zusätzliche Belastung durch Sulfatangriff auftreten.

Im Bereich der Trinkwasserversorgung, wie etwa in Trinkwasserbehältern oder bei Kläranlagen ist die Betonrandzone unterschiedlichen Wasserbewegungen Wasserstände, und Wasserdruck ausgesetzt.



Bild 2: Schadensbild Beanspruchung durch Klärwasser



Bild 3: Schadensbild Beanspruchung durch Chloride

Durch die Verwendung von Betontrennmittel wird ein späteres Wachstum von Mikroorganismen begünstigt.

CO<sub>2</sub> aus der Umwelt führt zum Verlust der Alkalität durch Karbonatisierung. Frost und mechanischer Abrieb, sowie chemischer Angriff begünstigen eine Korrosion der Bewehrung und stellen somit Grundlage für Ablösungen bzw. Abplatzungen dar.



Bild 4: Schadensbild durch Korrosion des Bewehrungsstahls

Diese Angriffe bzw. diese Belastungen an der Betonoberfläche können bei nicht ausreichender Qualität schon nach wenigen Jahren zu sichtbaren und messbaren Schäden führen.

Betrachtet man die typische Einbausituation im Bereich der Betondeckung, so wird nun exemplarisch folgende Gegebenheit angenommen. Mit einer handelsüblichen Schalung wird Beton mit Festigkeitsklasse C35/45 und einem w/z-Wert von 0,50 mit einer Betondeckung von 50mm eingebracht, ausgeführt und verdichtet. Nun fungiert eine Schalungsbahn Zemdrain® als Schalungshaut, welche während des Verdichtungsprozess eine wichtige Rolle spielt. Durch den Betondruck und die Verdichtungsenergie wird das Überschusswasser an die Schalungshaut transportiert.

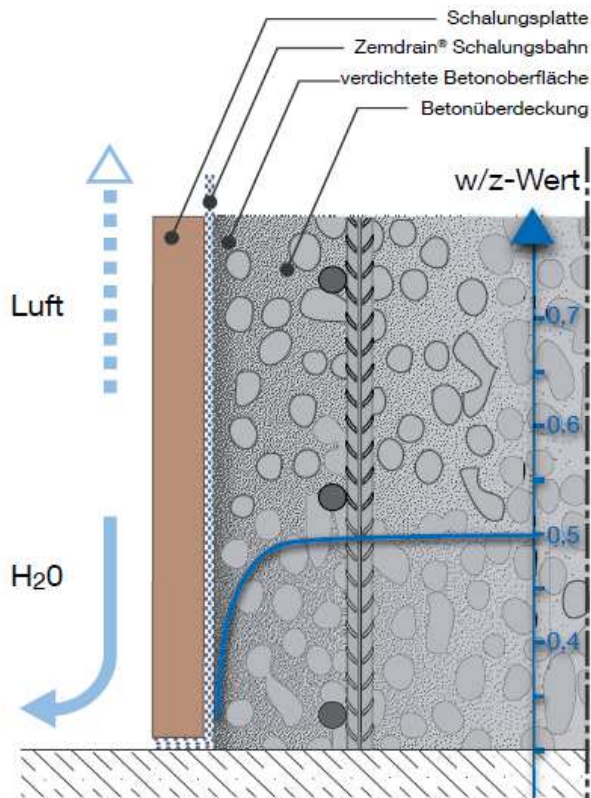


Bild 6: typische Einbausituation im Bereich der Betondeckung, mit Schalungsbahn Zemdrain®

Folglich wird das Überschusswasser unter kontrollierten Bedingungen nach unten geleitet. Parallel dazu hat die Luft die Möglichkeit, nach oben zu entweichen. Bei diesem Prozess reichern sich Feinanteile in der Betonrandzone an und generieren ein dichtes Gefüge. Durch diesen Effekt ist mit einer Abnahme des w/z-Werts in diesen Bereichen nachweislich zu rechnen und ist in der Systemskizze ersichtlich. Grundsätzlich gilt; je niedriger der w/z-Wert ist, umso geringer ist die Porosität und die Kapillarität einzustufen.



Bild 7: Betonergebnis, links mit Schalungsbahn Zemdrain® erstellt, rechts mit konventioneller Schalung erstellt

### **Vorteile durch die Verwendung der Schalungsbahn Zemdrain®:**

- Erhebliche Erhöhung der Oberflächenhärte
- Reduzierung der Karbonatisierung durch Umwelteinflüsse
- Reduzierung der Wasseraufnahme
- Reduzierung der Chloridmigration
- Verbesserung der Frost-Tauwasserbeständigkeit
- Das nahezu vollständige Fehlen von Lunkern und Poren mindert die Lebensbedingungen für Mikroorganismen und reduziert die Wasseraufnahmefähigkeit.
- Nicht nur auf der Betonoberfläche, sondern auch unmittelbar darunter wird der Lunkeranteil und Porenanteil wesentlich reduziert.
- Kein Betontrennmittel notwendig



Bild 8: Detailaufnahme im Labor – reduzierter W/Z-Wert an der Betonoberfläche

### 3. Schalungsbahn Zemdrain® - Nachweise

#### 3.1 Schalungsbahn Zemdrain® - BBA Zertifikat

Um die Wirkungsweise von Schalungsbahnen zu verifizieren und die Verbesserung der Eigenschaften messbar abzubilden, wurden am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) an der Materialprüfungs- und Forschungsanstalt im Jahr 2018 umfangreiche Prüfungen mit der Berichtsnummer: 182011 0091 durchgeführt. Diese Prüfungen wurden im Rahmen der BBA-Zertifikatserstellung durchgeführt.



Bild 9: Prüfbericht Berichtsnummer: 182011 0091, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

Dabei wurden Vergleichsprüfungen am Beton bei Herstellung mit wasserabführender Schalungsbahn und herkömmlicher Schalung durchgeführt.



Bild 10: BBA-Testreport Zemdrain® Formwork Liners

Die Zertifizierung umfasst regelmäßige Fremdüberwachung (Audits) der Herstellung von Zemdrain®, aber auch die Wirkung des Produkts, bzw. technische Optimierung auf den Konstruktionsbeton.

Zur Herstellung sämtlicher Betonprüfkörper – Großprüfkörper (Betonwände) und Kleinprüfkörper – wurde gemäß der Vorgabe des British Board of Agreement (BBA) ein Beton der Festigkeitsklasse C35/45 (mit einem maximalen Wasserzementwert von 0,45 und einem Mindestzementgehalt von 320 kg/m³) verwendet. Es wurden Großprüfkörper mit den Abmessungen 100 cm x 100 cm x 30 cm sowie quaderförmige Kleinprüfkörper mit den Abmessungen 10 cm x 10 cm x 40 cm und 4 cm x 15 cm hergestellt.



Bild 11: Verfüllen der geschalteten Wände mit Beton

Parallel zur Herstellung der Betonwände wurden würfelförmige Prüfkörper mit einer Kantenlänge von 150 mm zur Bestimmung der Druckfestigkeit zum Zeitpunkt 7, 14, 21 und 28 Tage hergestellt.

Die Nachbehandlung der Prüfkörper umfasste die Abdeckung der Betonwände mit feuchter Jute sowie mit Kunststofffolie.

Die Prüfkörper wurden gemäß der Vorgabe des BBA jeweils mit herkömmlicher Schalung erstellt sowie jeweils Schaltafelflächen mit wasserabführender Schalungsbahn ausgestattet. Bei den wasserabführenden Schalungsbahnen wurden die Typen Zemdrain® Classic mit glatter bis leicht strukturierter, grauer Oberseite (Betonseite) für die einmalige Verwendung sowie Zemdrain® MD mit glatter bis leicht strukturierter, weißer Oberseite (Betonseite) für den mehrmaligen Einsatz (zwei -bis drei-mal) verwendet.

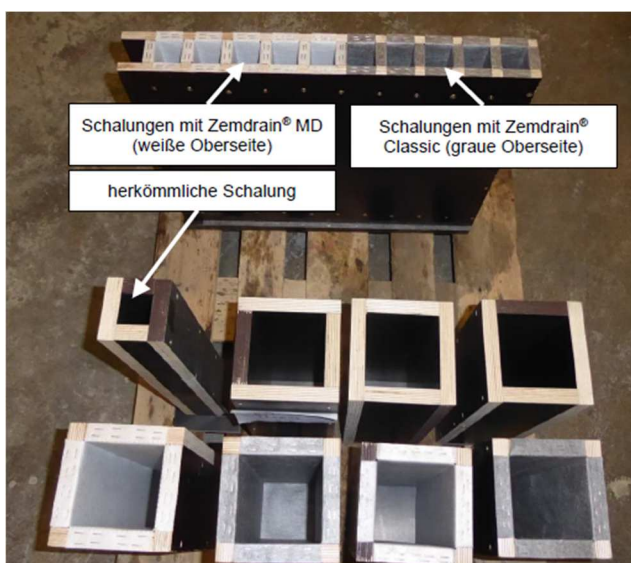


Bild 12: Schalungen zur Herstellung der Kleinprüfkörper (die Schalungen sind hier mit herkömmlicher Schaltafelfseite sowie mit Zemdrain® Classic und Zemdrain® MD versehen).



Bild 13: Bohrkernentnahme zur Herstellung von Probekörpern und durchgeführter Rückprall/Haftzugprüfung

Die Untersuchungen umfassen die Herstellung von Betonprüfkörpern unterschiedlicher Abmessungen zur Bestimmung:

- der Wassereindringtiefe unter Druck
- des Frostwiderstands
- des Karbonatisierungswiderstands
- des Sulfatwiderstands
- der Druckfestigkeit
- der Rückprallzahl
- der Oberflächenzugfestigkeit
- des Chloridwiderstands

#### **Auszug: Karbonatisierungswiderstand:**

**Prüfzweck:** Ermittlung des Widerstands gegen Eindringen von Kohlendioxid

**Prüfkörper:** Balken mit 100 x 100 x 400 mm

**Prüfdurchführung:** Prüfung in einer konzentrierten Kohlendioxidatmosphäre über 56 Tage CO<sub>2</sub> Gehalt von 1% bei 21°C und relativen Luftfeuchte von 60%. Messung der Karbonatisierungstiefe durch Aufbringen einer Phenolphthalein-Indikatorlösung

**Ergebnis:** Bezüglich der Ermittlung des Karbonatisierungswiderstands im Prüfalter von 50 Tagen an den Betonbalken mit wasserabführende Schalungsbahn wurden keine Karbonatisierungstiefen festgestellt. Bei den Balken mit herkömmlicher Schalung wurden mittlere Werte der Karbonatisierungstiefe von 3,3 bis 8,6mm ermittelt, siehe Tabelle 118.

| Proben-<br>bezeichnung | Probenseite [Nr.]           |     |     |     |
|------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|
|                        | 1                           | 2   | 3   | 4   |
|                        | Karbonatisierungstiefe [mm] |     |     |     |
| Referenz-19            | 8,5                         | 3,7 | 3,6 | 9,5 |
|                        | 5,1                         | 7,2 | 4,4 | 6,6 |
|                        | 10,8                        | 3,4 | 5,4 | 2,5 |
|                        | 7,5                         | 5,2 | 8,4 | 5,6 |
|                        | 11,2                        | 6,2 | 6,3 | 4,1 |
| Mittelwert             | 8,6                         | 5,1 | 5,6 | 5,7 |
| Standardabweichung     | 2,5                         | 1,6 | 1,9 | 2,6 |
| Referenz-20            | 4,2                         | 4,3 | 7,2 | 2,8 |
|                        | 4,4                         | 4,1 | 3,0 | 2,8 |
|                        | 6,3                         | 5,5 | 5,2 | 4,3 |
|                        | 4,7                         | 4,7 | 6,7 | 4,0 |
|                        | 6,3                         | 5,3 | 5,8 | 2,8 |
| Mittelwert             | 5,2                         | 4,8 | 5,6 | 3,3 |
| Standardabweichung     | 1,0                         | 0,6 | 1,6 | 0,7 |
| Classic-8              | 0,0                         | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Classic-9              | 0,0                         | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| MD-15                  | 0,0                         | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| MD-16                  | 0,0                         | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Mittelwert             | 0,0                         | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Standardabweichung     | 0,0                         | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Bild 14: Ergebnisse der Ermittlung des Karbonatisierungswiderstands an Referenzproben (herkömmliche Schalung) sowie an Proben, die mit den Typen Zemdrain® Classic und Zemdrain® MD (wasserabführende Schalungsbahn) ausgestattet waren.

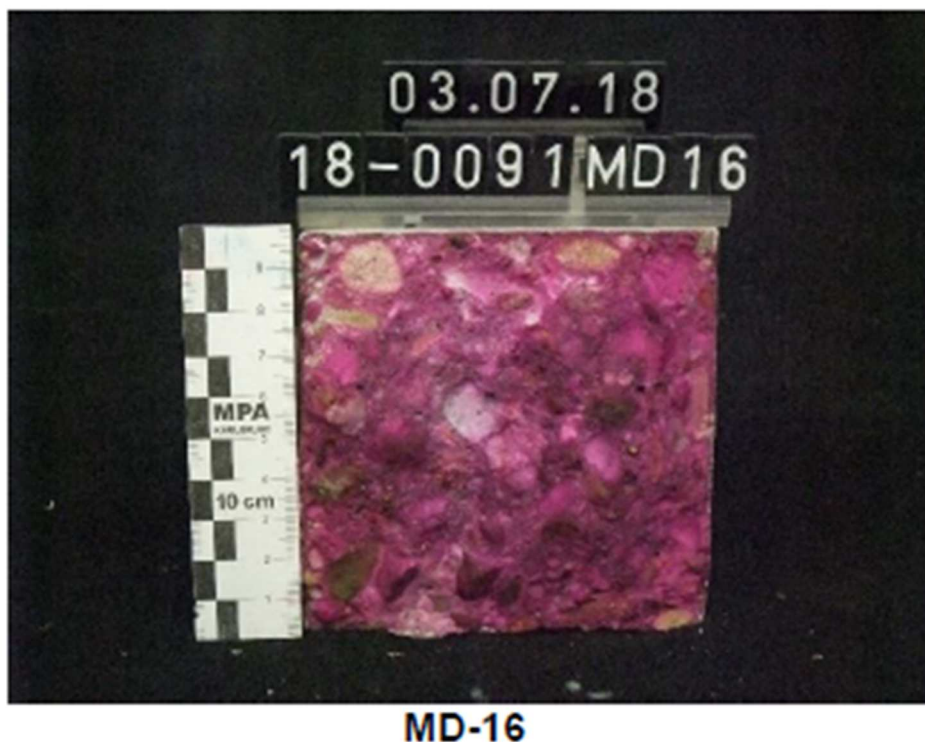


Bild 15: Ergebnisse der Ermittlung des Karbonatisierungswiderstands (Zemdrain® MD)

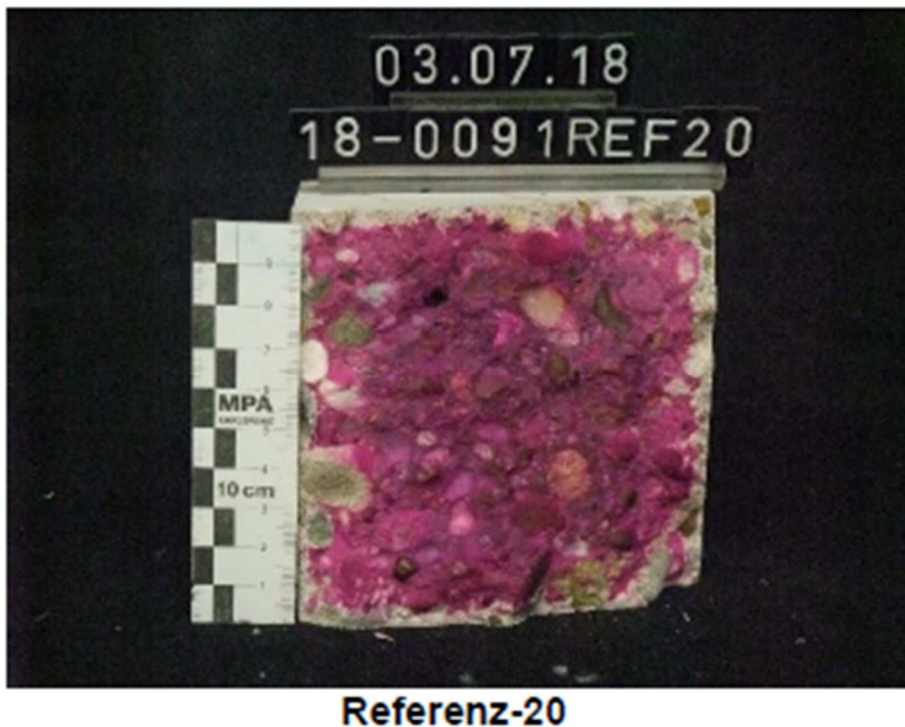


Bild 16: Ergebnisse der Ermittlung des Karbonatisierungswiderstands (herkömmliche Schalung)

### 3.2 Schalungsbahn Zemdrain® - Trinkwassereignung

Für die Anwendung im Trinkwasserbehälter ist die Eignung mit Nachweisen zu belegen.

Grundlage dafür sind die Prüfungen zu „Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich“, Prüfung gemäß DVGW Technische Regeln, Arbeitsblatt W 270 und „Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich“ gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 347.

Generell kann man zwischen saugenden Schalungsbahnen und kontrolliert wasserabführenden Schalungsbahnen unterscheiden.

Der Vorteil der wasserabführenden Schalungsbahnen Zemdrain® liegt darin, dass sie aus Polypropylen bestehen und unter kontrollierten Bedingungen das Überschusswasser und Luft drainieren.

Zemdrain® Classic TW ist nach den DVGW Arbeitsblättern W 270 und W 347 zertifiziert.

Die Eignung der Schalungsbahn sollte bereits in der Ausschreibungsphase berücksichtigt werden nach:

- **DVGW Arbeitsblatt W 270: Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich**
- **DVGW Arbeitsblatt W 347: Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich**

## 4. Schalungsbahn Zemdrain® - Produktinformationen

Zemdrain® Classic und Zemdrain® Classic TW sind mit einer glatten, bis leicht strukturierten grauen Oberseite (Betonseite) und einer schwarzen Rückseite ausgestattet. Das Material ist als Rollenware in verschiedenen marktgerechten Rollenbreiten (1,60 m – 4,20 m) erhältlich. Eine einheitlich Rollenlänge von 35m ist gegeben. Zemdrain® Classic und Zemdrain® Classic TW ist für die einmalige Verwendung konzipiert.



Bild 17: Produktfoto Zemdrain® Classic

Zemdrain® MD ist mit einer glatten, bis leicht strukturierten Oberseite (Betonseite) ausgestattet und besitzt ein Drainagegitter auf der Rückseite (Schalungsseite). Das Material ist als Rollenware mit der Spezifikation: 2,50 m Breite, 35 m Länge erhältlich. Durch den mehrmaligen Einsatz (2-3 mal) stellt dies eine wirtschaftliche Lösung dar.

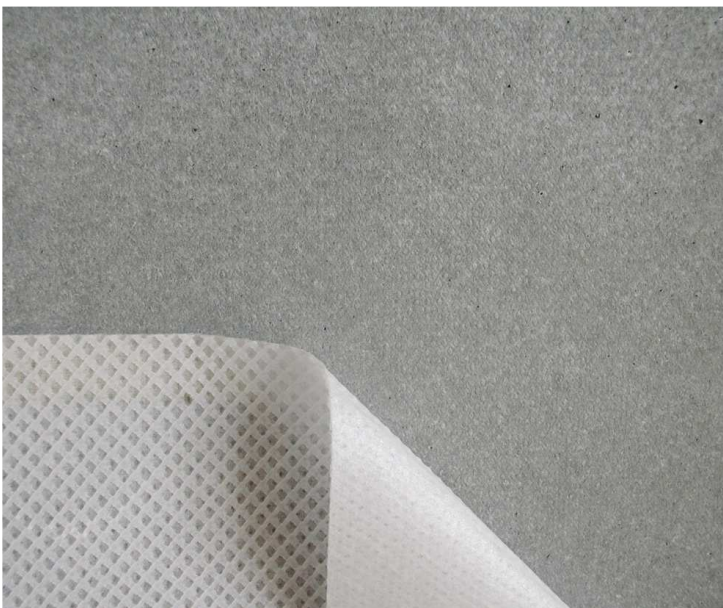


Bild 18: Produktfoto Zemdrain® MD

ZEMFRASA: MAX FRANK Schalungsbahn selbstklebend, die selbstklebende Schalungsbahn kommt in speziellen Fällen zum Einsatz. Dies ist bei Schalungsoberflächen gegeben, wenn eine Befestigung mit Klammern auf Schalungsoberflächen nur bedingt oder überhaupt nicht möglich (Stahl oder harter Kunststoff).



Bild 19: Produktfoto ZEMFRASA: MAX FRANK Schalungsbahn selbstklebend

## 5. Schalungsbahn Zemdrain® - Empfehlungen & Tipps für die Praxis

- Zur Herstellung einer gleichmäßigen, porenfreien Oberfläche sollte eine kontrolliert wasserabführende Schalungsbahn verwendet werden
- Besonders bei Bauteilen / Bauwerken mit mechanischer und chemischer Belastung empfehlenswert
- Schalungsbahn in Ausschreibung berücksichtigen (Nachweise nach DVGW W 270, W 347, Einweisung, Musterbetonage planen)
- Einweisungen in jedem Fall durchführen, auch wenn diese nicht in Ausschreibungen vorgesehen ist
- Eine Musterbetonage ist immer empfehlenswert
- Prüfberichte nutzen
- Trinkwasserbehälter: Innenoberflächen müssen so glatt und porenfrei wie möglich konzipiert werden. Daher sollten die Vorteile von Schalungsbahnen genutzt werden
- Im Behälterbau sind keine weiteren Oberflächenbehandlung (OS-Systeme) notwendig, da der Beton durch die Verwendung von Schalungsbahnen bereits optimiert wurde

## 6. Schalungsbahn Zemdrain® Projektbeispiele

### 6.1 Projektbeispiel Trinkwasserbehälter Dortmund Höchsten

Im Hochbehälter Dortmund Höchsten wird die Lebensdauer von Beton mit der wasserabführenden Schalungsbahn Zemdrain® erhöht. Im Dortmunder Süden entstand ein neuer Trinkwasserbehälter mit einem Fassungsvermögen von 7.500 Kubikmeter. Aufgrund der bautechnisch als schlecht einzustufenden Bausubstanz des Bestandsbehälters war ein kompletter Neubau notwendig und mit insgesamt 4,5 Mio. Euro veranschlagt. 2013 wurde der Neubau fertiggestellt sein und die hohe Qualität und Zuverlässigkeit der Dortmunder Wasserversorgung wieder sichergestellt.



Bild 20: Hochbehälter Dortmund Höchsten – Schalungsbahn Zedrain® Classic montiert



Bild 21: Hochbehälter Dortmund Höchsten – Ergebnis Betonage



Al Garhoud Bridge  
Dubai



Flughafen Split-Kaštela  
Split



Hochbehälter Höchsten  
Dortmund



Hochwasserschutz an der  
Lausitzer Neiße  
Forst



MAX FRANK  
Verwaltungsgebäude  
Leibfing



Öresundbrücke  
Malmö



Queensferry Crossing  
South-Queensferry/North-  
Queensferry



Road of the future  
Oss



Ridding Park Hotel & Spa  
Harrogate



Trinkwasser-  
Aufbereitungsanlage  
Essen



Trinkwasser-Hochbehälter  
Porta Westfalica



V&A Museum  
Dundee

Bild 22: weitere Projektbeispiele