

# Betontechnologische Beurteilung der Dauerhaftigkeit von mit einer Schalungsbahn behandelten Stahlbetonoberflächen in Kläranlagen nach 10-jähriger Betriebszeit

## 1. Stahlbetonbauwerke im Bereich von kommunalen Kläranlagen

Das FEhS - Institut für Baustoff-Forschung e. V., Duisburg, befasst sich seit mehr als 50 Jahren mit beton-technologischen Fragestellungen für hochbeanspruchte Bauteile aus Stahlbeton oder Spannbeton und begleitet die Herstellung derartiger Bauteile von der Planung bis zur Fertigstellung. Aufgrund einer Vielzahl baubegleitender Tätigkeiten des FEhS-Instituts, besonders im Kläranlagenbau, werden seitens des FEhS-Instituts für den Neubau von Kläranlagen Betonrezepturen erstellt, Qualitätsprüfungen von Bauteilen durchgeführt und Bauwerke hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit untersucht und beurteilt.

Um die Dauerhaftigkeit chemisch und/oder mechanisch hoch beanspruchter Stahlbetonbauteile zu gewährleisten, muss bei der Zusammensetzung des Betons die Wahl des Bindemittels, der Aufbau der Sieblinie in Verbindung mit der Wahl der Gesteinskörnung, die Frischbetonkonsistenz beim Einbau des Betons und dessen Nachbehandlung besonders beachtet werden.

Die Dichtigkeit und Festigkeit von Betonoberflächen ist ausschlaggebend für die Qualität der Betonrandzone. Das Eindringen von Schadstoffen in flüssiger oder gasförmiger Form sollte möglichst vermieden werden. Die Ein-

dringtiefen sollten klein sein, damit ein chemischer Angriff der Betonfläche und der Betonrandzone verhindert wird. Die Auswahl eines qualifizierten Bindemittels (Zement) und die Einhaltung eines geringen w/z-Wertes stellen eine hohe Dichtigkeit und Druckfestigkeit eines Betons sicher. Jedoch muss neben der Druckfestigkeit auch die Oberflächenzugfestigkeit der Bauteile ausreichend hoch sein, damit infolge der mechanischen Belastung durch Wasser, Schwebstoffe und Bewitterung, die Abwitterung der Betonoberfläche möglichst gering ist.

## 2. Qualität der Betonrandzone

Stahlbetonbauteile werden in Abwasseranlagen aufgrund der Zusammensetzung des Abwassers und der biologischen Reinigungsprozesse hoch beansprucht.



**Bild 1:** Hochbeanspruchte Stahlbetonbauteile der Kläranlage Bonn-Beuel

Besonders bei der Entstehung von biogener Schwefelsäure bei abgedeckelten Bauwerken aus Stahlbeton, muss die Qualität der Betonrandzone sehr hochwertig, d. h. sehr dicht sein.

Hier spielt der w/z-Wert des Betons eine wesentliche Rolle. Die Dichtigkeit des Betons steigt mit der Herabsetzung des w/z-Wertes. Aufgrund der Belastung der Betonoberfläche in Kläranlagen infolge der chemischen Beanspruchung des Klärwassers, einer Frost-Tauwechselbeanspruchung und häufig einer mechanischen Belastung durch Schwebstoffe im Abwasser und der Strömungsgeschwindigkeit des Abwassers muss die Betonoberfläche sehr dicht und ausreichend fest sein. Alternativ kann sie auch durch ein Oberflächenschutzsystem geschützt werden.

Welche Anforderungen an den Beton von Kläranlagenbauwerken zu beachten sind und wie die Qualität des Betons zu prüfen ist, enthalten Informationsunterlagen und Regelwerke der Bauberatung Zement und der DWA, z. B. Merkblatt DWA-M 211 „Schutz und Instandsetzung von Betonbauwerken in kommunalen Kläranlagen“,

Ausg. April 2008. Das Merkblatt DWA-M 211 beschreibt auch deutlich den Aufwand des Bauherrn und die damit verbundenen Kosten, die entstehen, wenn eine Betonoberfläche aufgrund von Betonabplatzungen, Korrosionsschäden der Bewehrung oder Frostabplatzungen instand gesetzt werden muss. Hierbei ist auch zu bedenken, dass nicht nur erhebliche Kosten aufgrund der Behandlung der Betonflächen entstehen, sondern dass auch der betriebliche Ablauf einer Kläranlage gestört und die Zusammensetzung des geklärten Abwassers über die Bauzeit beeinträchtigt wird.

Um die Qualität von Betonoberflächen neu herzustellender Betonbauwerke erheblich zu verbessern, wurde seitens der Unternehmen DuPont und Frank eine wasserabführende Schalungsbahn entwickelt, die in der Randzone eines Bauteils das Wasser-Zement-Verhältnis des Betons erheblich reduziert.



#### 4.1 Visuelle Begutachtung der beprobten Kläranlagenbauwerke

Die visuelle Begutachtung der Bauteiloberflächen zeigt bei beiden Kläranlagen, dass ein deutlicher Unterschied der Qualität der Bauteiloberflächen, die mit und ohne der Schalungsbahn Zemdrain® hergestellt wurden, zu erkennen ist. Die Bauteiloberflächen, die ohne die Schalungsbahn hergestellt wurden, weisen eine höhere Rauigkeit durch die Abwitterung der Feinmörtelschicht

auf. Bei den Bauteiloberflächen, die mit der Schalungsbahn hergestellt wurden, ist heute noch, nach zehn Jahren, die Struktur der Schalungsbahn des Polypropylenvlieses zu erkennen. Bild 3 zeigt deutlich den Unterschied der Betonoberfläche einer zehn Jahre beanspruchten Stahlbetonwand, die mit und ohne der Schalungsbahn Zemdrain® hergestellt wurde.

#### Betonzusammensetzung

Die Herstellung der Bauteile erfolgte aus einem Beton der Festigkeitsklasse B35 gemäß DIN 1045, Ausgabe 1988. Der w/z-Wert des Betons betrug  $\leq 0,50$ . Als Bindemittel wurden sowohl Portlandzement als auch Hochofenzement verwendet.

#### 4.2 Probenentnahme und Prüfungsdurchführung

Insgesamt wurden 18 Betonbohrkerne aus dem Nitrifikationsbecken der Kläranlage Offenburg-Griesheim und 14 Betonbohrkerne aus dem Belebungsbecken der Biologie der Kläranlage Bonn-Beuel entnommen und beton-technologisch untersucht.

**Bild 3:** Betonoberflächen der Innenflächen des Klärbeckens, rechts Außenwand mit Zemdrain® hergestellt, links Überlaufwand ohne Zemdrain® hergestellt.



##### 4.2.1 Betondruckfestigkeit

Die Bestimmung der Betondruckfestigkeit erfolgte an den entnommenen Bohrkernen (Zylindern) gemäß DIN EN 12504-1.

##### 4.2.2 Oberflächenzugfestigkeit

Die Ermittlung der Oberflächenzugfestigkeit auf den gereinigten Betonoberflächen erfolgte gemäß den Vorgaben der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“, Teil 3, Anhang C, Ausgabe Oktober 2001.

##### 4.2.3 Frostbeständigkeit

Neun Betonbohrkerne wurden einer Frost-Tau-Wechsel-Belastung unterzogen. Die Frost-Tau-Wechselprüfungen erfolgten in einer temperaturkontrollierten Prüfruhe (Klimatruhe) gemäß ZTV-Ing. Es wurden insgesamt 56 Frost-Tau-Wechsel durchgeführt (CIF-Test).

**5. Prüfergebnisse und Beurteilung der Qualität der Betonrandzone**

Die Prüfergebnisse der Betondruckfestigkeiten zeigen, dass die Betone eine Druckfestigkeit von 72 N/mm<sup>2</sup> bis 106 N/mm<sup>2</sup> aufweisen. Deutlich zu erkennen war, dass der Beton, der sich ständig unter Wasser befindet, eine deutlich höhere Druckfestigkeit auf-

weist als die Betone, die über der Wasserwechselzone entnommen wurden.

Gefordert war bei beiden Bauwerken ein Beton der Festigkeitsklasse B35, DIN 1045, Ausgabe 1988. Die deutliche Nacherhärtung ist auf die stän-

dige Feuchthaltung des Betons und der verwendeten Zementart bei einem Bauwerk zurückzuführen. Einzelprüfergebnisse sind der Tabelle 1 und 2 zu entnehmen.

| Bezeichnung<br>Zylinder Nr. | Abmessungen |                   | Schlankheit<br>H/D | Gewicht<br>kg | Rohdichte<br>kg/m <sup>3</sup> | Bruchlast<br>kN | Druckfestigkeit<br>N/mm <sup>2</sup> |
|-----------------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------------|
|                             | Höhe<br>mm  | Durchmesser<br>mm |                    |               |                                |                 |                                      |
| O 1                         | 96          | 94                | 1,02               | 1,668         | 2504                           | 499             | 72                                   |
| O 2                         | 96          | 94                | 1,02               | 1,552         | 2330                           | 464             | 67                                   |
| O 6                         | 95          | 94                | 1,01               | 1,624         | 2463                           | 558             | 80                                   |
| U 1                         | 95          | 94                | 1,01               | 1,679         | 2547                           | 641             | 92                                   |
| U 2                         | 96          | 94                | 1,02               | 1,691         | 2538                           | 706             | 102                                  |
| U 4                         | 96          | 94                | 1,02               | 1,687         | 2532                           | 739             | 106                                  |
| M 2                         | 96          | 94                | 1,02               | 1,680         | 2522                           | 558             | 80                                   |
| M 3                         | 96          | 94                | 1,02               | 1,648         | 2474                           | 589             | 85                                   |
| M 6                         | 95          | 94                | 1,01               | 1,628         | 2469                           | 580             | 84                                   |

**Tabelle 1: Betondruckfestigkeiten der Betonbohrkerne aus der Käranlage Offenburg-Griesheim**

O 1, O 2, O 6 Außenwand, Innenseite oberhalb der Wasserwechselzone, Oberfläche wurde mit Zemdrain® hergestellt  
 U 1, U 2, U 4 Außenwand, Innenseite unterhalb der Wasserwechselzone, Oberfläche wurde mit Zemdrain® hergestellt  
 M 2, M 3, M 6 Überlaufwand, unterhalb des Wasserspiegels, Oberfläche wurde ohne Zemdrain® hergestellt

| Bezeichnung<br>Zylinder Nr. | Abmessungen |                   | Schlankheit<br>H/D | Gewicht<br>kg | Rohdichte<br>kg/m <sup>3</sup> | Bruchlast<br>kN | Druckfestigkeit<br>N/mm <sup>2</sup> |
|-----------------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------------|
|                             | Höhe<br>mm  | Durchmesser<br>mm |                    |               |                                |                 |                                      |
| BK 3                        | 105         | 104               | 1,01               | 2,109         | 2364                           | 600             | 71                                   |
| BK 6                        | 96          | 96                | 1,00               | 1,792         | 2579                           | 542             | 75                                   |
| BK 10                       | 97          | 97                | 1,00               | 1,709         | 2384                           | 582             | 79                                   |
| BK 11                       | 96          | 96                | 1,00               | 1,726         | 2484                           | 613             | 85                                   |
| BK 13                       | 96          | 97                | 0,99               | 1,818         | 2563                           | 621             | 84                                   |

**Tabelle 2: Betondruckfestigkeiten der Betonbohrkerne aus der Käranlage Bonn-Beuel**

BK 3, BK 11 Außenwand, Innenseite oberhalb der Wasserwechselzone, mit Zemdrain®  
 BK 6, BK 10, BK 13 Außenwand, Innenseite unterhalb der Wasserwechselzone, mit Zemdrain®

Die Ermittlung der Oberflächenzugfestigkeiten und der Abwitterung der Betonoberflächen nach der Frost- und Tauwechselbeanspruchung zeigen, dass die Betonrandzonen eine sehr hochwertige Betonqualität aufweisen. Die Oberflächenzugfestigkeiten z. B. der Betonproben der Kläranlage Offenburg-Griesheim betragen von 2,7 N/mm<sup>2</sup> bis maximal 4,8 N/mm<sup>2</sup>, wobei nur zwei Prüfergebnisse von neun unter 3,0 N/mm<sup>2</sup> betragen.

Die Bauteiloberflächen der Kläranlage Bonn-Beuel belegen die gleiche gute Qualität der Betonrandzone. Auch hier betragen die Oberflächenzugfestigkeiten der Betonoberfläche von 1,4 N/mm<sup>2</sup> bis max. 3,9 N/mm<sup>2</sup>. Nur ein Prüfergebnis unterschreitet das Prüfergebnis 2,0 N/mm<sup>2</sup>. Der hohe Mittelwert von 2,91 N/mm<sup>2</sup> beweist eine hohe Dichtigkeit und Gefügestärke der Bauteiloberflächen. Damit ist die Dauerhaftigkeit der hoch beanspruchten Bauteile, vor allem bei den mit Zemdrain® betonierte Wänden, über einen sehr langen Zeitraum sichergestellt.

Die geforderten Mindestwerte von  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  gemäß ZTV-Ing. wurden erheblich überschritten.

Einzelprüfergebnisse der Betonoberflächen, die mit der gleichen Betonzusammensetzung jedoch ohne die Schalungsbahn hergestellt wurden, lassen deutlich erkennen, dass die Oberflächenzugfestigkeiten dieser Bauteiloberflächen um ca. 30 % abfallen. Eine deutliche Steigerung der Oberflächenzugfestigkeit der Betonrandzone bei Anwendung der Schalungsbahn Zemdrain® ist bei beiden Bauwerken erkennbar.

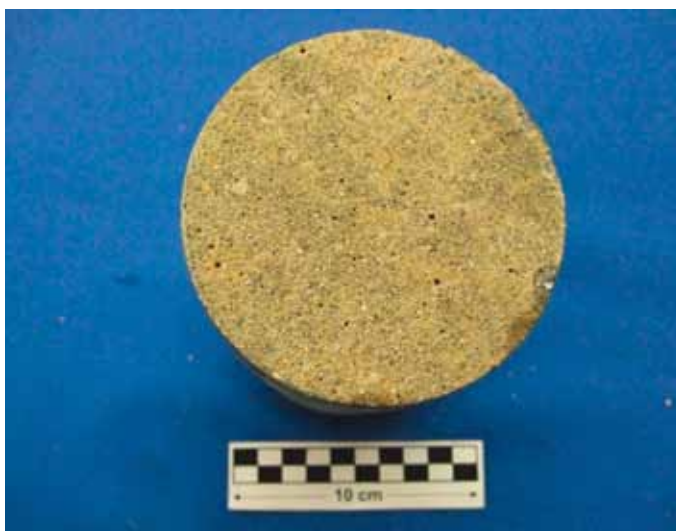
Um die Qualität der Betonrandzone zusätzlich beurteilen zu können, wurden Proben aus den Betonoberflächen hinsichtlich ihrer Abwitterung nach 56 Frost- und Tauwechseln untersucht (CIF-Test). Die Prüfung erfolgte gemäß den Vorschriften der ZTV-Ing.

Die Prüfergebnisse aller untersuchten Betone zeigen nach 56 Frost-Tau-Wechsel keinen Abfall des relativen dynamischen E-Moduls. Ein Beton gilt aufgrund von Frost- und Tauwechseln als geschädigt, wenn sein relativer dynamischer E-Modul nach Beanspruchung 75 % unterschreitet.

Die Prüfergebnisse zeigen, dass die Dauerhaftigkeit der Betone auch bei einer Frost-Tau-Wechselbeanspruchung der Bauteile sowohl der Kläranlage Offenburg-Griesheim als auch Bonn-Beuel gewährleistet ist.

Alle mit der Schalungsbahn behandelten Betonoberflächen weisen erheblich niedrigere Abwitterungsmengen auf als die, bei denen keine Schalungsbahn verwendet wurde.

Bild 4, 5 und Tabelle 1 zeigen die Betonoberfläche eines Bohrkerns aus der Außenwand unterhalb der Wasserwechselzone der Kläranlage Offenburg-Griesheim, die mit der Schalungsbahn Zemdrain® nur auf der Innenseite der Außenwand hergestellt wurde. Bild 4 zeigt die Betonoberfläche der Innenseite der Außenwand vor der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung und Bild 5 die Betonoberfläche der gleichen Probe nach der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung.



**Bild 4:** Probe U5, Betonoberfläche vor der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung, Herstellung der Betonoberfläche mit der Schalungsbahn



**Bild 5:** Probe U5, Betonoberfläche nach der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung, Herstellung der Betonoberfläche mit der Schalungsbahn

Die Abwitterungsmengen der Bauteiloberflächen, die mit der Schalungsbahn hergestellt wurden, betragen von 200 g/m<sup>2</sup> bis ca. 500 g/m<sup>2</sup>. Der Grenzwert der ZTV-Ing. beträgt 1500 g/m<sup>2</sup>.

Die Abwitterungsmengen der Betonoberflächen die ohne Schalungsbahn hergestellt wurden, sind im direkten Vergleich 7,5 höher als die, die mit Schalungsbahn hergestellt wurden (232 g/m<sup>2</sup> mit Zemdrain<sup>®</sup>, zu 1722 g/m<sup>2</sup> ohne Zemdrain<sup>®</sup>).

Die Bilder 6, 7 und Tabelle 2 zeigen die Abwitterung der Betonoberfläche der ständig unter Wasser stehenden Mittelwand (Überlaufwand) der Kläranlage Offenburg-Griesheim vor und nach der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung. Die Herstellung der Mittelwand erfolgte mit der gleichen Betonzusammensetzung, jedoch ohne Verwendung der Schalungsbahn.

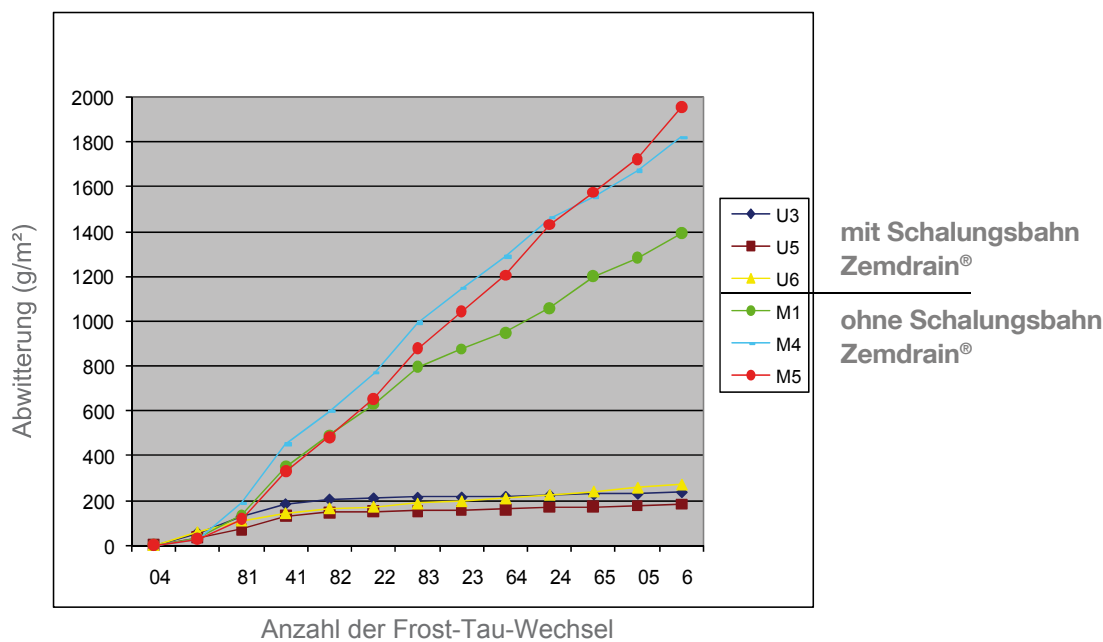
Die Abwitterungsmengen des Betons sowohl oberhalb als auch unterhalb des Wasserspiegels zeigen bei beiden Kläranlagenbauwerken, dass die Abwitterungsmengen bei Anwendung der Schalungsbahn wesentlich reduziert wurden und weit unterhalb des Grenzwertes der ZTV-Ing. liegen.



**Bild 6:** Probe M5, Betonoberfläche vor der Frost-Tau-Wechselprüfung, Herstellung der Betonoberfläche ohne Schalungsbahn



**Bild 7:** Probe M5, Betonoberfläche nach der Frost-Tau-Wechselprüfung, Herstellung der Betonoberfläche ohne Schalungsbahn



**Bild 8:** Abwitterung in g/m² nach Frost-Tau Wechsel

Durch die Rüttelenergie und den Betondruck beim Einbau des Betons ist es möglich, einen Großteil des Überschußwassers von bis zu 2,5 Liter pro m² aus der Betonoberfläche abzuführen. Dieser Vorgang reduziert nicht nur den w/z-Wert, sondern optimiert auch die Betonentlüftung. Die Betonrandzone wird kompakter und dichter.

Die Betonoberflächen der Bauteile, sowohl über als auch unter Wasser, die mit der Schalungsbahn Zemdrain® hergestellt wurden, weisen zur Zeit der Prüfung eine erheblich dichtere Oberflächenstruktur auf, als die Bauteile, die mit einer normalen Schalung hergestellt wurden.

Der Nachweis der Steigerung der Oberflächenqualität der Betonrandzone und damit der Dauerhaftigkeit der Stahlbetonbauteile beim Einsatz der Schalungsbahn zeigen alle Prüfergebnisse der untersuchten Bauwerke.

## 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Nach einschlägigen Regelwerken ist die Dauerhaftigkeit von hochbeanspruchten Stahlbetonbauteilen, wie die der Kläranlagen, sicherzustellen. Bindend dafür ist die richtige Auswahl der Betonausgangsstoffe, der fachgerechte Einbau, die Nachbehandlung und ein möglichst niedriger w/z-Wert des Betons.

Trotz Einhaltung aller vorgegebenen Parameter zeigen sich schon nach wenigen Jahren Schädigungen an der Betonoberfläche.

Mit dieser betontechnologischen Untersuchung zweier Kläranlagen nach 10-jähriger Betriebszeit, konnte eine deutliche Verbesserung aller beurteil-

ten Proben durch die Verwendung der kontrolliert wasserabführenden Schalungsbahn Zemdrain® festgestellt werden. Die Beschädigungen an Bauteilen ohne Schalungsbahn waren bereits vor Ort sichtbar, während sich bei den Proben mit Schalungsbahnen auch nach 56 Frost-Tau-Wechsel kaum Abwitterungen einstellten. (232g/m² mit Schalungsbahn zu 1722g/m² ohne Schalungsbahn)

Somit kann von einer erheblichen Verlängerung der Lebensdauer von hochbeanspruchten Stahlbetonbauteilen durch die Verwendung von kontrolliert wasserabführenden Schalungsbahnen ausgegangen werden.

Alle Einzelprüfergebnisse und eine wesentlich genauere Beschreibung aller begutachteten Stahlbetonbauteile, der untersuchten Proben, der durchgeführten Prüfungen und der Prüfergebnisse enthält das betontechnologische Gutachten des FEhS - Instituts für Baustoff-Forschung e. V., Duisburg, Prüfbericht Nr. 2008/310

## 7. Der Autor

Dipl.-Ing. Klaus Lehmann, Jg. 1955, leitet seit 1990 die bauaufsichtlich anerkannte Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle des Landes NRW, FEhS - Institut für Baustoff-Forschung in Duisburg. Als Dozent und Lehrbeauftragter an der Universität Duisburg/

Essen lehrt er im Bereich Bauingenieurwesen die Sondergebiete des Massivbaus. Herr Lehmann ist Mitglied in verschiedenen Arbeitsausschüssen und Verbänden sowie Vorstandsmitglied und Obmann des Güteausschusses „Planung der Instandsetzung von Be-

tonbauwerken“. Als Autor einer Vielzahl von Veröffentlichungen und zahlreicher wissenschaftlicher Beiträge ist Herr K. Lehmann im Fachbereich seit langen Jahren bekannt.

## 8. Literatur

- Merkblatt DWA - M211 „Schutz und Instandsetzung von Betonbauwerken in kommunalen Kläranlagen“, Ausgabe April 2008, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 53771 Hennef
- Untersuchungsbericht der Technischen Universität München, Prof. Dr. R. Springenschmid, Untersuchungsbericht Nr. 3360-04-96
- Betontechnische Untersuchungen „Anwendung der Schalungsbahn Zemdrain® im Kläranlagenbau“, Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken e. V., Duisburg, Dr.-Ing. E. Lang, aus 1997
- Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe, Prof. Dr. Ing. Hilsdorf, Prüfungsbericht Nr. 9025840040 und 9225630048 „Wirksamkeit der Zemdrain® Schalungsbahn“
- Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, ZTV-Ing., Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrsblatt-Verlag
- Mit kontrollierter wasserabführender Schalungsbahn (CPF) erstellte Trinkwasserbehälter: Untersuchung der Wasserkammern nach 15 Jahren Betriebszeit PD Dr.-Ing. Günter Merkl
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton-Teil 1-4
- Technische Dokumentation des Produktes Zemdrain® der Max Frank GmbH & Co. KG, Leiblfing

## Zemdrain® | Betonschäden vermeiden

Wenn hohe Anforderungen an die Betonoberfläche bezüglich Dauerhaftigkeit und Qualität gestellt werden, ist der Einsatz von Zemdrain® empfehlenswert, z. B. bei Kläranlagen, Trinkwasserbehältern, Abwasser- und Entsorgungsbauwerken sowie Talsperren und Schleusen.



**Max Frank GmbH & Co. KG** | Technologien für die Bauindustrie  
 Telefon +49 9427 189-0 · Fax +49 9427 1588  
 info@maxfrank.de · www.maxfrank.de

[www.maxfrank.de](http://www.maxfrank.de)