

## I/4 Beständigkeit von Kanalauskleidungen gegenüber mechanisch-chemischen Belastungen

**Dr.-Ing. Wolfram Kämpfer, Dr.-Ing. Andrea Dimmig und  
Prof. Dr.-Ing. habil Jochen Stark**

### 1. Zielstellung

Die maßgeblichen Anforderungen an Abwasserbauwerke sind Standsicherheit, Dichtigkeit, Hydraulik und Gebrauchstauglichkeit. Bei der Bemessung von Betonbauwerken nach Eurocode 2 ist die Gebrauchstauglichkeit so definiert, dass ein Tragwerk

- ≠ die geforderten Gebrauchseigenschaften über der vorgesehenen Nutzungsdauer mit annehmbarer Wahrscheinlichkeit beibehält und
- ≠ mit angemessener Zuverlässigkeit den Einwirkungen und Einflüssen standhält, die während der Nutzung auftreten können und eine angemessene Dauerhaftigkeit im Verhältnis zu seinen Instandhaltungskosten aufweist.

Abwasserbauwerke müssen daher neben der Erfüllung der Anforderungen an die Standsicherheit und Dichtigkeit (WHG §19) auch den auftretenden chemisch-physikalischen Belastungen einen solchen Widerstand entgegensetzen, dass die Gebrauchstauglichkeit während der geplanten Nutzungsdauer erhalten bleibt. Die Anforderungen, die an Auskleidungsmaterialien für Abwasseranlagen gestellt werden, sind  $\Psi\beta$

- ≠ Dichtigkeit gegenüber rückwärtiger Durchfeuchtung und drückendem Grundwasser,
- ≠ Wasserundurchlässigkeit,
- ≠ Beständigkeit gegenüber Hochdruck-Wasserstrahlen und
- ≠ Widerstandsfähigkeit gegenüber chemisch-abrassivem Angriff.

Die mechanisch-chemischen Beanspruchungen von Abwasserbauwerken sind nach ATV A 115, ATV M 168 und nach DIN 4030 einzustufen. Demnach sind bei schwachem oder kurzzeitigem chemischen Angriff in der Regel betontechnologische Maßnahmen ausreichend, um einen dauerhaften Schutz von Betonbauwerken zu gewährleisten. Werden Abwässer als stark oder sehr stark betonangreifend eingestuft und verläuft dieser Angriff zyklisch oder langfristig, sind zusätzliche aktive Korrosionsschutzmaßnahmen nach DIN EN 1045 erforderlich  $\Psi$ ,  $6\beta$

Zum Oberflächenschutz von Betonbauwerken und Abwasserkanälen werden in der Regel Auskleidungen oder Beschichtungen verwendet. Die Auskleidung kann als Teil- oder Vollauskleidung mit montierten Einzelelementen sowie mit vorgefertigten oder örtlich hergestellten Rohren erfolgen. Etabliert haben sich in den letzten Jahren die Inlinerverfahren, die auf Grund der Zeitdauer zum Einbringen der selbsttragenden Rohrauskleidungen wesentliche Vorteile bieten.

Neuere Entwicklung in Richtung von Hochleistungsbetonen mit deutlich erhöhter Dichtigkeit sowie säureresistenter Betone mit speziellen Zusätzen lassen in Zukunft auch Betonbauwerke mit ausreichender Beständigkeit bei erhöhter Expositionsklasse erwarten. Dazu werden derzeit verschiedene Untersuchungen mit zumahlstoffreichen Zementen und/oder modifizierten mineralischen Bindemitteln durchgeführt  $\Psi$ ,  $5\beta$

## 2. Anforderungen an Beschichtungen und Auskleidungen

Ein die Nutzungsdauer von Abwasseranlagen beeinflussender mechanisch-chemischer Angriff wird durch Einleitung von stark betonschädigenden Medien (DIN 4030) oder durch mikrobiell entstehende Schwefelsäure (BSK) hervorgerufen. Die Einleitung von aggressiven Medien durch Industrieeinleiter wird durch die kommunalen Abwassersatzungen untersagt, die Bildung stark betonangreifender Substanzen aus dem organischen Anteil häuslicher Abwässer infolge ungünstiger Betriebsbedingungen kann durch planerisch-betriebliche Maßnahmen weitgehend reduziert werden.

Vorhandene Abweichungen von normgerechten Betriebs- und Ableitungsbedingungen lassen sich auch bei sachgerechter Überwachung nicht völlig ausschließen, zumal die Probleme des Korrosionsschutzes von Abwasserbauwerken infolge des in den letzten Jahren stark abnehmenden Trinkwasserverbrauchs nicht geringer werden dürften. Die Ableitung von häuslichen und gewerblichen Abwässern ist einem ständigen Wandel unterworfen. Daher ist bei der Instandhaltung von Abwasserbauwerken aus Beton neben der Wiederherstellung / Verbesserung des Abflussverhaltens der Korrosionsschutz eines der wesentlichsten Maßnahmen.

Für die Instandsetzung von stark korrosiv beanspruchten Abwasserbauwerken aus Beton und Stahlbeton mit Beschichtungen und Auskleidungen liegen derzeit nur unzureichende Kenntnisse zum Echtzeit- und Zeitrafferverhalten vor. Die in den Richtlinien der GSTT angesetzten Nutzungsdauern betragen zwischen 15 und 50 Jahren und lassen damit einen sehr breiten Gestaltungsspielraum für die Netzbetreiber zu. Nachweise für hinreichend reproduzierbar zuverlässige Instandsetzungsverfahren konnten nur für Einzelobjekte unter ganz spezifischen Rand- und Belastungsbedingungen erbracht werden  $\Psi\beta$

Da die Werkstoffbeanspruchungen je nach Betriebsbedingung im Kanalnetz sehr unterschiedlich sein können, stellt sich die Verfahrens- und Werkstoffauswahl als Optimierungsproblem dar. Grundlage der optimalen Auswahl von Instandsetzungsverfahren sind zunächst die Voruntersuchungen am Sanierungsobjekt zur Zustandserfassung und der zu erwartenden zukünftigen Belastung. Für Beschichtungen und Auskleidungen von Abwasserbauwerken sind zudem seitens der Materialhersteller bauaufsichtliche Zulassungen des Deutschen Institut für Bautechnik Berlin erforderlich.

Eine herausragende Bedeutung für alle Beschichtungs- und Auskleidungsverfahren kommt dem Haftverbund zum Untergrund zu. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Instandsetzung auf feuchten, zum Großteil auch salzbelasteten Betonuntergründen erfolgt und damit erhebliche Kapillar- sowie osmotische Drücke auf den Haftverbund wirken können. Für die Gewährleistung ausreichender Haftzugfestigkeiten werden daher bei Beschichtungen ausschließlich kunststoffvergütete Mörtel- und Betonsysteme für die Sanierung eingesetzt  $\Psi\beta$

Bei weitgehend wasserdampfdurchlässigen Beschichtungen ist die Diffusion von betonaggressiven Medien von der Innenseite der Bauwerke ausgehend bis in den Betonuntergrund von wesentlicher Bedeutung. Deshalb spielt die Schichtdicke eine erhebliche Rolle, da mit Sicherheit ausgeschlossen werden muss, dass das Angriffsmedium während der Beanspruchungszeit den Betonuntergrund erreicht.

Die grundsätzlichen Anforderungen an Beschichtungs- und Auskleidungsmaterialien lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ≠ Wiederherstellung der zweckgemäßen Gebrauchstauglichkeit des Abwasserbauwerks einschließlich Nachweis der geforderten Dichtigkeit, Standsicherheit und hydraulischen Kapazität.
- ≠ Ausreichender Widerstand gegenüber chemisch-abrassivem Angriff während der geplanten Nutzungsdauer.

Als Bezug für die Planung, Ausführung und Überwachung von Instandsetzungsarbeiten mittels Beschichtungen und Auskleidungen kann die ZTV Ingenieurbauwerke verwendet werden. Da jedoch nicht ohne weiteres diese Richtlinie auf die Instandsetzungsbedingungen von Abwasserbauwerken übertragen werden kann, muss die bautechnische Eignung der Instandsetzungssysteme unter Kanalbedingungen an Musterflächen im Einzelfall ermittelt werden.

Mit dem Forschungsvorhaben „Beständigkeit von Kanalauskleidungen und -beschichtungen gegenüber mechanisch-chemischen Belastungen“ hat die Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar in Zusammenarbeit mit dem F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar und der EPOWIT GmbH Leimbach sowie fünf Materialherstellern durch finanzielle Unterstützung des Freistaates Thüringen im Jahre 1997 ein Pilotprojekt gestartet, um allgemeingültige Aussagen über das Echtzeitverhalten von Instandsetzungsmaterialien auf stark geschädigten und salzkontaminierten Betonuntergründen zu erhalten. Erste Ergebnisse aus fünfjähriger Echtzeitbeaufschlagung werden nachfolgend vorgestellt.

### 3. Zustand des Modellkanals

Der 1895 im Trog-Haube-Verfahren mit Ort beton hergestellte 2 km lange Abschnitt des Hauptsammlers Gotha-West (1200/800 B) bedarf einer grundlegenden Instandhaltung: Die weitgehende Zustandserfassung nach ATV A 143 belegt, dass auf Grund jahrzehntelanger permanenter Belastung mit stark betonkorrosiven Medien durch Industrie einleiter (Brauerei und Galvanik) ein stark geschädigter Zustand im oberflächennahen Bereich vorliegt.

Bei verschiedenen Begehungen wurden im Wandkondensat pH-Werte bis 3,0 nachgewiesen. Durch Korrosion im flüssigkeitsbenetzten Sohlbereich sind zusätzlich Fließverhältnisse entstanden, die erhebliche Auswirkungen auf das Bauwerk haben. Die stark zerklüftete profilierte Sohle führt zu Ablagerungen mit hohen organischen Anteilen, die Ursache für eine biogene Betonkorrosion oberhalb der Wasserwechselzone darstellt (**Bild 1**).



**Bild 1:** Geschädigter Gerinnebeton des Modellkanals nach über 100-jähriger Betriebsdauer

Durch weitgehende Reduzierung des Anteils organischer Schmutzfrachten hat sich die Absetzmenge in den letzten Jahren stark reduziert, die Korrosionsprobleme wurden jedoch nicht beseitigt. Der Sammler musste daher sowohl betontechnisch ertüchtigt wie auch hydraulisch neu gestaltet werden. Dies bedeutete, dass das Instandsetzungssystem dauerhaft korrosionssicher auf einen stark salzbelasteten Betonuntergrund zu applizieren war und dabei das Abflussverhalten nachhaltig verbessert werden musste  $\Psi\beta$

Die Darstellung der Betriebsbedingungen erfolgte durch Messung relevanter Abwasserparameter, wie CSB-, BSB-, Nitrat- und Sulfidgehalt an Hand zyklischer 24-Stunden-Mischproben. Im Gasraum wurden mittels online-Messungen der Hydrogensulfid- und Kohlendioxidgehalt sowie die Temperatur aufgenommen (**Tabelle 1**). Gleichzeitig wurden bakteriologische Untersuchungen im Sielhautbereich zur Feststellung maßgeblicher Bakterienstämme durchgeführt  $\Psi\beta$

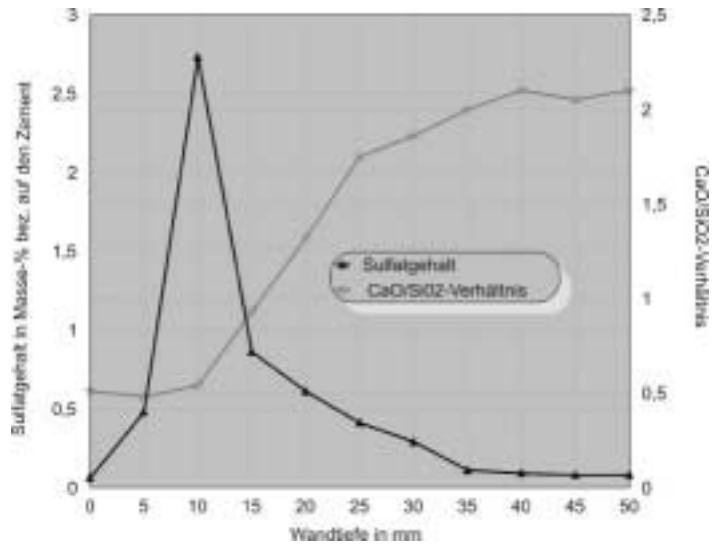
	Abwasser	Gasraum
On-line-Parameter	pH-Wert	Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S
	Temperatur	Kohlendioxid CO <sub>2</sub>
	Elektrische Leitfähigkeit	Schwefeldioxid SO <sub>2</sub>
	Durchflussmenge	Sauerstoff O <sub>2</sub>
Parameter Stichprobe	Sulfat SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
	Sulfid gelöst S <sup>2-</sup>	
	Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	Magnesium Mg <sup>2+</sup>	
	Gesamtschwefel S <sub>ges</sub>	

**Tabelle 1:** Übersicht zu den ermittelten Abwasser- und Gasraumparametern im Modellkanal

Betondruckfestigkeit $f_{ck, cyk}$ in N/mm <sup>2</sup>	18 (Scheitel) .... 38 (WW-Zone)
Betonoberflächenzugfestigkeit $f_p$ in N/mm <sup>2</sup>	1,5 (Oberfläche) .... 2,2 (30 mm Tiefe)
Sulfatgehalt SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> in Masse-%, bez. auf Zement	2,8 (Oberfläche) .... 0,2 (40 mm Tiefe)
pH-Wert	7,6 (Oberfläche) .... 12,8 (40 mm Tiefe)

**Tabelle 2:** Übersicht zu den betontechnischen Voruntersuchungen im Modellkanal

Im Bereich Sohle, Kämpfer und Scheitel wurden jeweils 8 Bohrkernproben  $\therefore$  80 mm entnommen und die Kennwerte Druckfestigkeit, Oberflächenzugfestigkeit, Rohdichte, Porosität sowie tiefenabhängig die pH-Werte, die Salzgehalte an Sulfat, Sulfid, Nitrat und Chlorid und Strukturuntersuchungen mittels Dünnschliffmikroskopie und ESEM durchgeführt (**Tabelle 2**). Der Beton wurde mittels Hochdruck-Wasserstrahlreinigung gründlich gesäubert. Ein Abtragen des Betons bis in den völlig ungeschädigten Beton wurde auf Grund ausreichender Oberflächenhaftzugwerte verworfen (**Bilder 2 und 3**).



**Bild 3:** Sulfat- und CaO/SiO<sub>2</sub>-Verteilung im oberflächennahen Bereich des Betons

**Bild 2:** Beschichtung des Modellkanals mit kunststoffvergüteten Mörtelsystemen

#### 4. Auswahl der Instandsetzungssysteme

Die Auswahl der erfolgversprechenden Instandsetzungssysteme für durchfeuchtete und salzbelastete Betonuntergründe erfolgte unter dem maßgeblichen Gesichtspunkt der Beständigkeit und des Kosten-Nutzen-Verhältnisses. Ausgewählt wurden drei Beschichtungsverfahren mit kunststoffvergüteten Spritzmörteln, ein Kunststoffspritzsystem und ein Montageverfahren, selbsttragend (**Tabelle 3**). Den Materialherstellern wurden dazu die Befunde der betontechnischen Voruntersuchungen und die Ergebnisse der Abwasseranalysen vorgelegt.

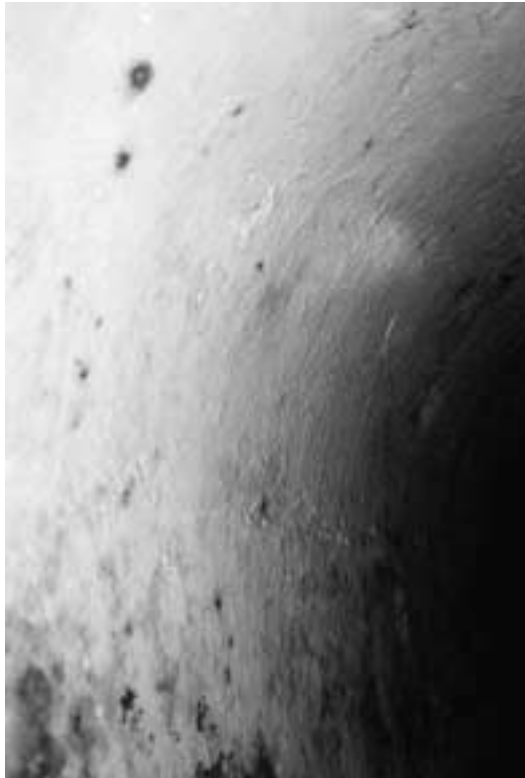
System 1	System 2	System 3	System 4	System 5
Polyharnstoff-Sprühelastomer	PCC I	PCC II	ECC	ESG-Auskleidung
Vollauskleidung	Vollauskleidung	Vollauskleidung	Vollauskleidung	Viertelschalen im Gerinne

**Tabelle 3:** Zusammenstellung der angewandten Instandhaltungsverfahren

Unter dem Gesichtspunkt der Vielzahl von ungünstigen Umgebungsbedingungen schränkt sich die Anzahl der in Frage kommenden Instandsetzungssysteme sehr stark ein. Das Applizieren der Instandsetzungssysteme einschließlich der notwendigen Reprofilierung wurde durch eine Fachfirma der Betoninstandsetzung unter bautechnischer Begleitung der Anwendungstechniker der Materialhersteller durchgeführt. Nach Entfernung der Abmauerungen wurde der mit Probeflächen von jeweils 3 m Länge versehene Sammler im August 1997 wieder in Betrieb genommen  $\Psi\beta$

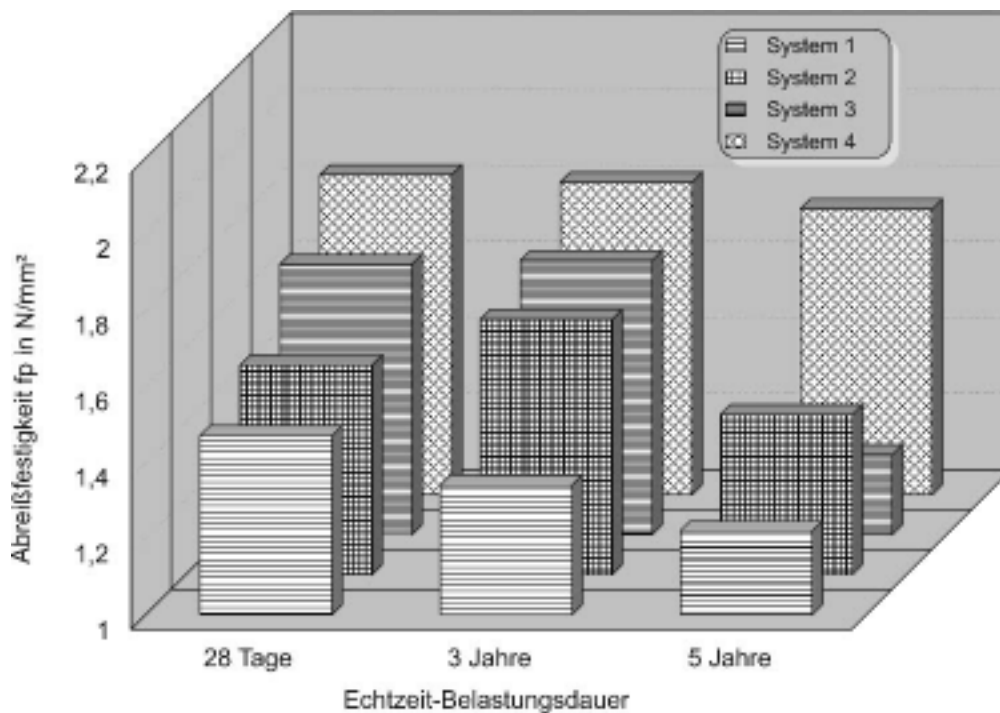
## 5. Schädigungs- und Zeitstandsverhalten

Ausschlaggebend für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Instandhaltungssystemen sind die Säurebeständigkeit und das Langzeitverbundverhalten. Dazu wurden in jeweils Einjahresabständen die applizierten Wand- und Scheitelflächen durch Analyse der Abreißfestigkeiten, der organischen Besiedlung sowie der Festigkeiten und der Schädigungstiefen bewertet (**Bilder 4, 5 und 6**).

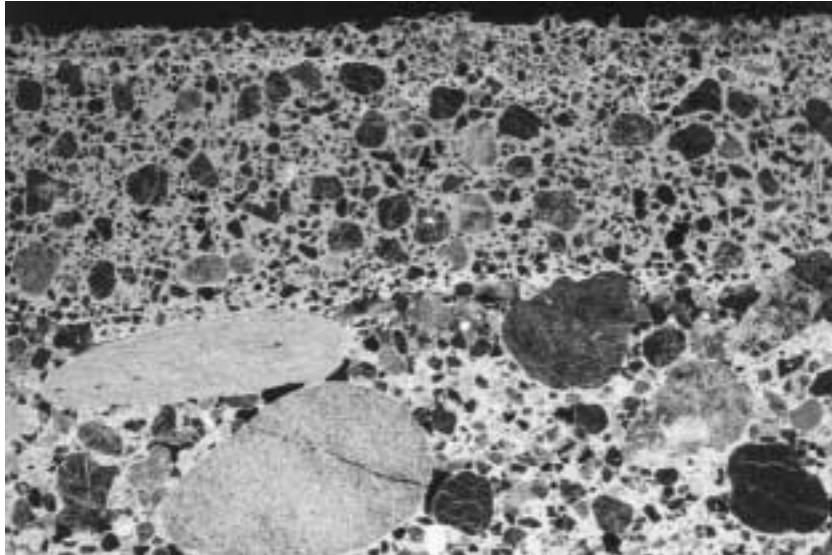


**Bild 5:** Besiedlung schwefelsäureoxidierender Bakterien auf PCC-Oberflächen

**Bild 4:** Punktueller mikrobieller Befall auf PCC-Oberflächen nach 5-jähriger Echtzeitbelastung



**Bild 6:** Abreißfestigkeiten der Beschichtungen nach 5-jähriger Echtzeitbelastung

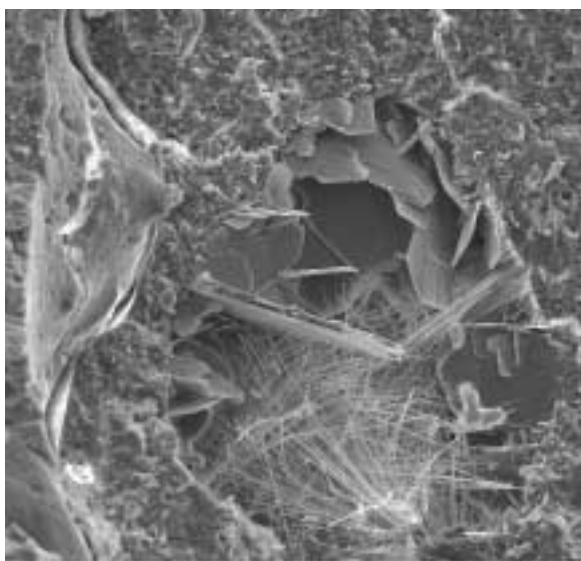


**Bild 7:** Dünnschliffmikroskopische Aufnahme aus dem Verbundbereich Altbeton-PCC-Beschichtung nach 5-jähriger Echtzeitbelastung

Die Abreißfestigkeiten werden im Wesentlichen durch die Oberflächenzugfestigkeiten des Altbetonuntergrundes bestimmt. Daher waren auch nur Werte in dieser Größenordnung zu erwarten. Alle applizierten Systeme zeigen bei 5-jähriger Echtzeitbeaufschlagung unter stark betonangreifenden Medien einen leichten Rückgang der Abreißfestigkeiten, wobei für das ECC-System der Festigkeitsverlust nur sehr gering und für PCC II am höchsten lag.

Auf den mineralischen Oberflächen der Beschichtungen zeigten sich bereits nach 3-jähriger Beanspruchung punktuelle mikrobielle Ansiedlungen schwefelsäureoxidierender Bakterien. Das Wachstum dieses Befalls verläuft jedoch sehr langsam, da durch Regenereignisse die Oberflächen der Mischwassersammler zyklisch abgewaschen werden.

Als wesentlicher Schwachpunkt von Beschichtungen auf sulfatbelasteten Betonuntergründen hat sich die Verbundzone Beschichtung-Altbeton erwiesen. Hierbei kommt es insbesondere bei Anwendung von PCC-Systemen zu Störungen im Haftverbund (**Bild 7**). Sehr deutlich zeigt sich dies an Hand der dünnschliffmikroskopischen und der REM-Aufnahmen, mit denen die Bildung insbesondere grobkristalliner Portlandite aber auch von Ettringit in wassergefüllten Poren nachgewiesen wurde (**Bild 8**). Da die Wandbereiche einer ständig wechselnden Feuchtenbeanspruchung ausgesetzt sind, kann es bei Dauerwechselbeanspruchung zu erhöhten Kristallisationsdrücken und damit zur Ablösung der Beschichtung kommen.



Bohnen He1. PCC-Übergang, (B.36)

10µm

**Bild 8:** Bildung von Portlandit und Ettringit in der Übergangszone Altbeton-PCC-Beschichtung nach 5-jähriger Echtzeitbelastung

Die Feinstrukturuntersuchungen der Verbundzone von Altbeton und Beschichtung zeigten bei keinem der applizierten Systeme sichtbare Schäden in Form von Rissen. Die Ursache für den nach 5-jähriger Belastungsdauer noch weitgehend intakten Verbund wird vor allem in der vorhandenen offenen Porosität des Altbetonuntergrundes gesehen, in die Phasenneubildungen ohne Aufbau von Spannungen hineinwachsen können.

Da die Inkubationszeit von biogenen Korrosionsprozessen mit 3 bis 8 Jahren angesetzt wird, kann auf Grund der vorliegenden Ergebnisse noch keine abschließende Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Beschichtungs- und Auskleidungssystemen auf sulfatbelasteten Untergründen erfolgen. Aussagen zur Applikationstechnik und zur Wirtschaftlichkeit der Verfahren sind jedoch möglich.

## Literatur

- [1] Kämpfer, W. und Berndt, M.: Untersuchungen zur Beständigkeit von Beschichtungssystemen in Abwasserkanälen; 14. Internationale Baustofftagung; Bauhaus-Universität Weimar, p 2-1003, 2000
- [2] Dörr, N.: Verbundverhalten von mineralischen Beschichtungen auf stark belasteten Betonoberflächen in Abwassersammlern; Studienarbeit Bauhaus-Universität Weimar, 2001
- [3] Stark, J. und Wicht, B.: Dauerhaftigkeit von Beton; Reihe Baupraxis: Der Baustoff als Werkstoff, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser-Verlag 2001
- [4] Zementmörtelauskleidung von Wasser- und Abwasserleitungen aus Stahl und duktilem Gusseisen; Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau Oldenburg, Band 19; Vulkan-Verlag Essen, 2001
- [5] Dorner, H.: Säurewiderstand von Hochleistungsbetonen, 38. Forschungskolloquium des DAfStb, 2000
- [6] ATV-M 168: Korrosion von Abwasseranlagen; 1998-07

**Verfasser:** Dr.-Ing. Wolfram Kämpfer  
Betriebsleiter Fachgebiet Materialbeständigkeit  
MFPA an der Bauhaus-Universität Weimar  
Amalienstraße 13  
99423 Weimar  
Telefon: (0 36 43) 56 41 84  
Telefax: (0 36 43) 56 42 02  
e-mail: wolfram.kaempfer@mfpa.de

Dr.-Ing. Andrea Dimmig und  
Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Stark  
F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde FIB  
Coudraystraße 11  
99423 Weimar  
Telefon: (0 36 43) 58 47 61  
Telefax: (0 36 43) 58 47 62  
e-mail: jochen.stark@bauing.uni-weimar.de