

Kläranlagen-Beton mit erhöhtem Säurewiderstand

Von Ulrich Starkmann, Dortmund, und Peter Lyhs, Düsseldorf

1 Einleitung

Die in Kläranlagen behandelten häuslichen und kommunalen Abwässer bewirken im Regelfall höchstens einen chemisch schwachen Angriff (Expositionsklasse XA1 nach [1, 2]) auf den Beton. Gewerbliche und industrielle Abwässer können den Beton auch stark chemisch angreifen (Expositionsklasse XA3 oder stärker). Bei bestimmten Randbedingungen, z. B. bei abgedeckten Klärbecken mit unzureichend belüftetem Gasraum, kann durch Schwefelsäurebildung auch ein sehr starker chemischer Angriff auftreten. Ein hohes Gefährdungspotenzial für diese Art der Einwirkung weisen auch geschlossene Abwasserleitungen und -kanäle auf. Für derartige Anlagen wurde der Angriffsgrad XBSK (BSK Biogene Schwefelkorrosion) eingeführt [3], der über den höchsten in der DIN EN 1992 [4, 5] eingeführten Angriffsgrad XA3 hinaus geht. Bei einzelnen stark beanspruchten oder besonders gefährdeten Bauwerksteilen in Abwasserbehandlungsanlagen ist es unerlässlich, den Beton mit einem Schutz, z.B. einer Beschichtung oder einer Auskleidung, zu versehen. Seit einigen Jahren kommen im Abwasserbereich bei starkem chemischem Angriff (XA3 und darüber hinaus) auch Betone mit erhöhtem Säurewiderstand (so genannte ESW-Betone) zum Einsatz, die ohne Schutz der Betonoberfläche den Beanspruchungen einen ausreichenden Widerstand entgegensetzen. Der Beton selbst ist so beständig, dass bei entsprechender Planung Standsicher-

heit und Gebrauchstauglichkeit im Nutzungszeitraum der Bauteile gewährleistet werden können. Ein Grund für die Anwendung eines solchen Spezialbetons ist darin zu sehen, dass Abwasserbauwerke oft schwer zugänglich im Erdreich liegen, ein Schadenseintritt schwierig zu erkennen ist und in diesen Fällen der Ersatz oder die Instandsetzung von geschädigten Bauteilen nicht oder nur unter großem Aufwand durchführbar sind. Hier kann der Einsatz solcher „XBSK-Betone“ auch bei sehr starken Angriffen Vorteile durch einen verlangsamteten Schädigungsverlauf bieten.

2 Bauaufgabe

Bei der Erstellung eines neuen Speicherbeckens im Klärwerk Potsdam wurden die hinsichtlich eines starken

chemischen Angriffs als besonderes gefährdet angesehenen, teilweise geschlossenen Bauteile – Pumpenkammer, Entlastungs- und Entspannungsbauteile – ohne zusätzlichen Schutz mit einem Beton mit erhöhtem Säurewiderstand ausgeführt (Bild 1). Ein ähnlich konzipierter, auf der Baustelle hergestellter Beton wird bereits seit mehreren Jahren erfolgreich im Kraftwerksbau eingesetzt. Ebenso wie dieser wurde der Beton für das Klärwerk Potsdam in einer gutachterlich entwickelten Performance-Prüfung auf ausreichenden Widerstand und Dauerhaftigkeit untersucht. Unter anderem wurde er 3 Monate lang einer Schwefelsäurelösung mit pH-Wert 3,5 ausgesetzt, die von der Oberfläche ausgehende Schädigungsfront durfte anschließend nicht mehr als 1,1 mm bis 1,3 mm in den Beton hinein reichen. Zum weiteren Untersuchungsprogramm gehörten die Bestimmung des Sulfatwiderstands, der Restalkalität und insbesondere Untersuchungen der Porenstruktur. Ein wesentliches Merkmal derartiger Betone ist ein ausgeprägt dichtes Porengefüge, welches das Eindringen betonschädigender Substanzen erschwert. Die für alle Untersuchungs-



Bild 1: Fertiggestellte Pumpenkammer im Betrieb

parameter festgelegten Grenzwerte müssen in ihrer Gesamtheit eingehalten werden, damit die besonders hohe Beständigkeit attestiert werden kann.

3 Betonkonzept

Der Beton für das Klärwerk Potsdam wurde als klassischer Transportbeton mit Fokus auf verlängerte Fahrzeiten, gute Pumpbarkeit und problemlosen Einbau entwickelt. Unter der Bezeichnung ESW-Beton® wird er in vielen Regionen vertrieben und ist bei passenden Randbedingungen unkompliziert einsetzbar. Die spezielle Zusammensetzung des Betons resultiert aus zahlreichen Prüfungen unterschiedlicher Mischungszusammensetzungen. Ziel war die Entwicklung eines beständigen Betons bei Bewahrung der bei einem Transportbeton erwarteten Verarbeitungseigenschaften. Der Beton ist nach den Anforderungen der DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 [1, 2] zusammengesetzt und erfüllt die Anforderungen für die Expositionsklasse XA3 (Tafel 1). Er wurde in der Konsistenzklasse F5 auf die Baustelle geliefert.

4 Einbaubedingungen

Im Zeitraum des Betoneinbaus lagen die Umgebungstemperaturen zwischen 10 °C und 30 °C. Auch an den Betoniertagen mit sehr hohen Temperaturen wurde der Beton mit der vereinbarten Konsistenz auf die Baustelle geliefert und war ausreichend lange verarbeitbar (Bilder 2 und 3). Der Beton zeigte einen guten Zusammenhalt und erwies sich hinsichtlich seiner Verarbeitungseigenschaften als robust. Auch ein maschinelles Glätten der horizontalen Betonoberflächen war möglich. Da sich die Mischung infolge der Zugabe von Mikrosilika und des relativ

Tafel 1: Anhaltswerte für die Zusammensetzung des ESW-Betons

Ausgangsstoffe		Zusammensetzung ESW	Grenzwerte für XA3
Zement	CEM III/A 32,5 N LH NA	83 % v. BM	≥ 270 kg/m ³
Flugasche	nach DIN EN 450-1	13 % v. BM	
Mikrosilika	nach DIN EN 13263-1	4 % v. BM	
Fließmittel	PCE		
Gesteinskörnung	Sand, Kies	0/16, nicht karbonathaltig	
w/z _{eq} -Wert		0,35	≤ 0,45

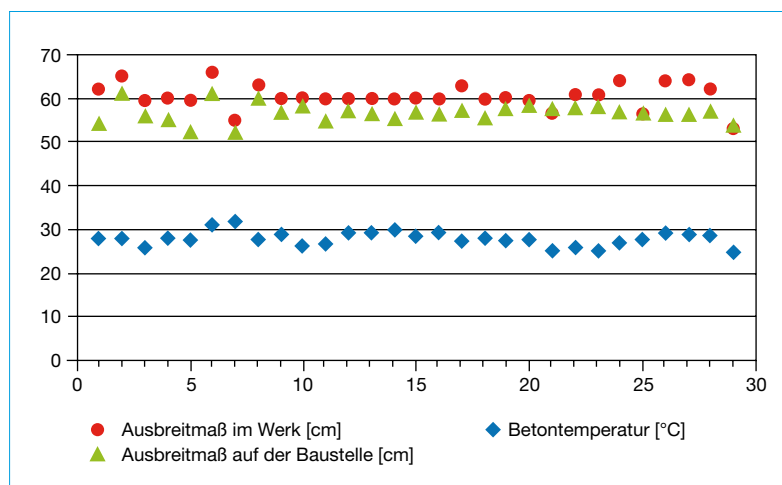


Bild 2: Ermittelte Ausbreitmaße im Betonwerk und auf der Baustelle bei Temperaturen ≥ 25 °C



Bild 3: Messung des Ausbreitmaßes auf der Baustelle

hohen PCE-Fließmittel-Gehalts als etwas klebriger darstellte als ein Normalbeton, wurden die Abstände der Eintauchstellen der Innenrüttler (gegenüber dem „Normalen“) verkürzt (Bild 4). Die Wandschalungen waren an den abwasserbeaufschlagten Seiten mit wasserabführenden Schalungsbahnen bespannt. Dies führte zu fast porenfreien Oberflächen. Zudem bewirkte der Wasserentzug in den oberflächennahen Schichten eine Verbesserung der Dichtigkeit und des Eindringwiderstands. Dies belegen Säureuntersuchungen von Bohrkernen, die aus einer neben dem Bauwerk erstellten Probewand entnommen wurden (Tafel 2). Die Probewand war beidseitig mit einer saugenden Schalungsplatte (RS special) geschalt, an einer Seite war zusätzlich eine wasserabführende Schalungsbahn zwischen Beton und Schalung angeordnet.

Zur Untersuchung der Gleichmäßigkeit der maßgebenden Betoneigenschaften bei den Randbedingungen

- Betonherstellung im TB-Werk,
- Lieferentfernung 20 km und
- zeitweise hohe Einbautemperaturen

wurden bei acht verschiedenen Lieferungen Proben entnommen. An diesen wurden als Kennwerte für die Dichtigkeit und die Beständigkeit des Betons die Porosität und die Chlorideindringung bestimmt (Tafel 3). Die Ergebnisse liegen unterhalb der Grenzwerte für hochbeständigen Beton und erreichen etwa die Werte der erweiterten Erstprüfungen.

5 Bemessungskonzept

Die hohe Dichtigkeit des ESW bringt mit sich, dass auch die Festigkeiten auf einem hohen Niveau liegen.

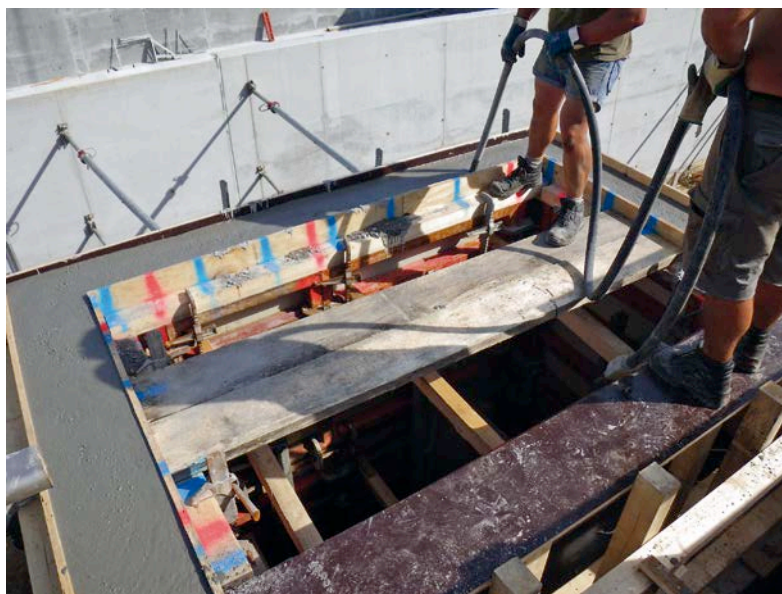


Bild 4: Verdichten des ESW-Betons mit Innenrüttler. An der seitlichen Schalung rot bzw. blau markiert sind die Stellen, an denen der Beton eingebaut bzw. verdichtet wird.

Tafel 2: Ergebnisse der Messung von Schädigungstiefe und Chloriddiffusion in verschiedenen Bauteilbereichen

Beton	Prüffläche	Schädigungstiefe [mm]	Chloriddiffusion [$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]
Hochbeständiger Beton (Grenzwert)	gesägt	1,1 ... 1,3	< 1,2
Beton aus Erstprüfung (Laborherstellung)	gesägt	1,25	0,47
Versuchswand: Kernbeton	gesägt	1,25	0,52
Versuchswand: RS-special	geschalt	2,30	0,72
Versuchswand: Zemdren	geschalt	0,95	0,67

Tafel 3: Ergebnisse von Porositätsmittlung und Chloriddiffusion an Kennwerten von acht Beton-Lieferchargen

Kennwert		Beton aus Erstprüfung (im Labor hergestellt)	Produktionsbeton			Hochbeständiger Beton (Grenzwert)
			Kleinstwert	Mittelwert	Größt-wert	
Gesamtporosität	[Vol.-%]	9,0	7,0	8,8	10,5	< 11
Kapillarporosität (< 100 μm)	[Vol.-%]	6,1	5,8	6,6	8,0	< 9,4
Chlorid-diffusion	[$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	0,47	0,57	0,61	0,67	< 1,2

Nach den Ergebnissen der Erstprüfung wurde der Beton in die Festigkeitsklasse C55/67 eingestuft. Die Festigkeit bei den anlässlich der Bauausführung auf der Baustelle hergestellten Würfeln betrug im Mittel 77 N/mm² nach 28 Tagen (Tafel 4). Diese Festigkeiten sind statisch nicht erforderlich, die Pumpenkammer war ursprünglich in der Festigkeitsklasse C30/37 geplant. Die Bemessungsmodelle der DIN 1045-1 [6] für die rissebeschränkende Bewehrung basieren auf den Risschnittkräften und würden bei den hohen Festigkeiten des ESW zu hohen Bewehrungsgehalten führen. In diesem Fall wurde im Nachgang die Mindestbewehrung alternativ auf der Grundlage einer Kompatibilitätsuntersuchung zwischen den auftretenden Zwangsverformungen und den aufnehmbaren Verformungen bestimmt [7]. Für die Bestimmung der Verformungen wurden auf der

Tafel 4: Ergebnisse der Frisch- und Festbetonprüfungen der Güteüberwachung im Mischwerk (gemittelte Werte)

Ausbreitmaß	[mm] [mm]	Werk	600
		Baustelle	560
Druckfestigkeit nach	2 d	[N/mm ²]	32
	7 d	[N/mm ²]	64
	28 d	[N/mm ²]	77
	56 d	[N/mm ²]	81
Spaltzugfestigkeit nach 28 d	[N/mm ²]		5,5
E-Modul nach 28 d	[N/mm ²]		42.000

Grundlage eines 3D-FEM-Berechnungsmodells der Temperaturverlauf und die Zwangsbeanspruchungen im Erhärtungszeitraum simuliert. Die errechneten Temperaturverläufe wurden mit denen abgeglichen, die bei der Erstellung von Bauteilen und der Probewand gemessen worden waren (Bild 5). Sowohl für die Bau-

teile Bodenplatte und Wände auf Bodenplatte konnte anschließend festgestellt werden, dass die aufzunehmende behinderte Verformung aus der Temperaturbeanspruchung unterhalb der zulässigen Rissbreite (in diesem Fall 0,15 mm) liegt. Eine rissbreitenbeschränkende Bewehrung war damit nicht erforderlich;

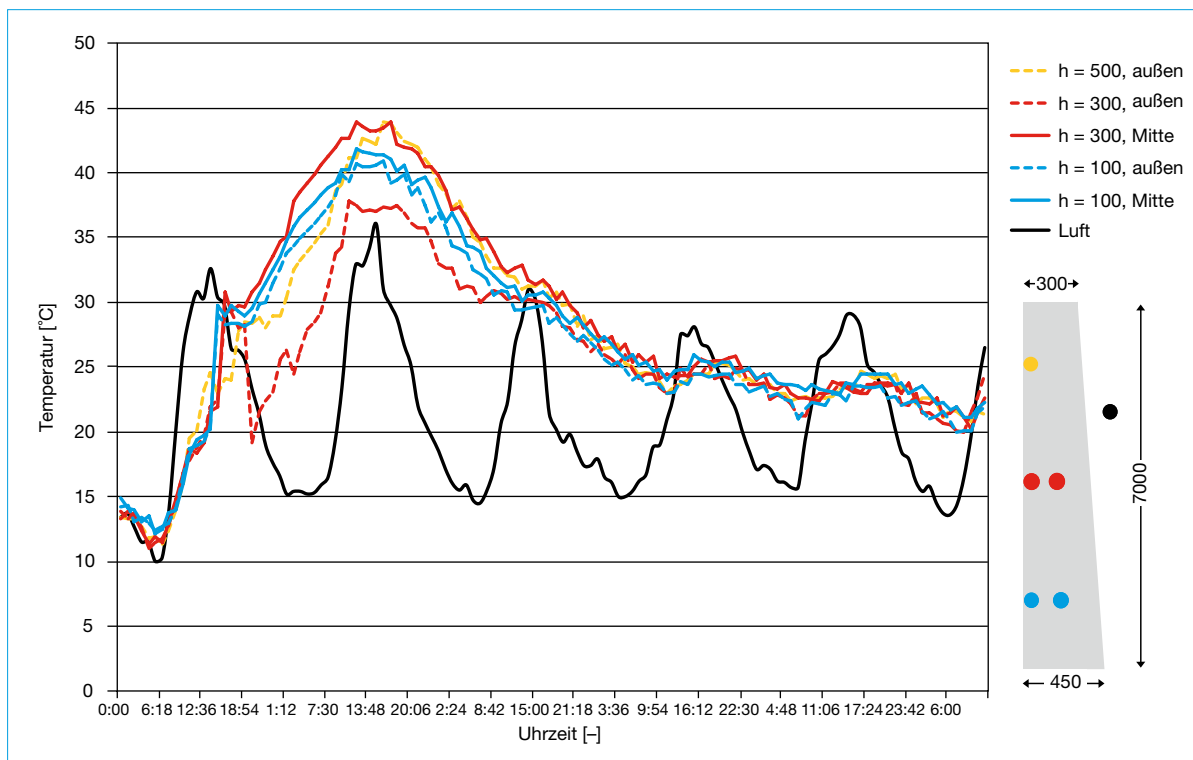


Bild 5: Temperaturverlauf in der Außenwand der Pumpkammer

die Bewehrung musste lediglich so dimensioniert werden, dass der Bewehrungsstahl bei Rissbildung nicht fließt. Aus der Anwendung dieses innovativen Bemessungskonzepts resultiert trotz der hohen Betonfestigkeiten ein wirtschaftlicher Bewehrungsanteil, der nicht höher ausfällt als der der Ursprungsplanung.

6 Ergebnis und Ausblick

Bei starkem chemischem Angriff ermöglicht ein Beton mit erhöhtem Säurewiderstand, auf eine dünne und oft beschädigungsanfällige Oberflächenschutzschicht zu verzichten. Die „monolithische“ Ausführungsvariante kann gegenüber der „Schutzvariante“ Vorteile haben:

- **Dauerhaftigkeit:** verlängerte Lebensdauer gegenüber z. B. Kunststoffbeschichtungen

- **Nachhaltigkeit:** verlängerte Lebensdauer, verbesserte Recyclingfähigkeit
- **Wirtschaftlichkeit:** geringere Materialkosten, geringere Ausfallzeiten von Anlagen bei Instandhaltung/Erneuerung
- **Bauausführung:** Verkürzung der Bauzeit, Unabhängigkeit von der Witterung

In jedem Einzelfall ist zu prüfen, ob bei dem vorhandenen Angriffspotenzial und den angreifenden Stoffen ein Einsatz dieses innovativen Baustoffs sinnvoll und machbar ist. Die Herstellung robuster ESW-Betone in Transportbetonwerken vereinfacht deren Anwendung und Verbreitung. Der Einsatz bei dem Klärwerk Potsdam zeigt, dass die geforderten Qualitätsmerkmale auf der Baustelle eingehalten werden und auch bei zeitweise schwierigen Umgebungsbedingungen eine gute Verarbeitbarkeit gegeben ist.

7 Literatur

- [1] DIN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- [2] DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- [3] Merkblatt DWA-M 211 „Schutz und Instandsetzung von Betonbauwerken in kommunalen Kläranlagen“, Hrsg. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., April 2008
- [4] DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [5] DIN EN 1992-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [6] DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion
- [7] FuE-Vorhaben „Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite infolge erhärtungsbedingter Zwangbeanspruchung bei Bauteilen aus Beton mit erhöhtem Säurewiderstand (ESW-Beton)“, TU Graz, Institut für Betonbau