

PRÜFBERICHT: P06519

Gelsenkirchen, 11. Juli 2017

Auftraggeber (AG):	Betonwerk Bieren GmbH Werster Straße 225 32549 Bad Oeynhausen
Prüfauftrag Nr.:	P06519
Bezeichnung des Prüfauftrags:	Prüfungen zum Vergleich der Leistungsfähigkeit von schalungserhärteten Schachtunterteilen in monolithischer Bauweise aus Hochleistungsbeton SWHB nach DIN EN 1917 / DIN V 4034-1 und FBS-Qualitätsrichtlinie und Schachtunterteilen mit geklinkerten Gerinnen nach DIN EN 1917 / DIN V 4034-1 und FBS-Qualitätsrichtlinie
Datum des Auftrages:	23. November 2016

Dieser Prüfbericht besteht aus 28 Seiten.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Der Prüfbericht darf auszugsweise nur mit schriftlicher Genehmigung des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur vervielfältigt werden.

Dipl.-Ing. Dieter Homann
(Leiter der Prüfstelle)

Dipl.-Ing. Markus Gillar
(Projektleiter)

Proben

Probenbezeichnung			Eingang am	Probenherstellung durch	Beschreibung der Probekörper
Lfd. Nr.	IKT (Prüfstelle)	Auftraggeber (AG)			
1	H2195-1	Rohrhalbschalen zur Bestimmung des Abriebs	03.08.2016	AG AG	Aus Hochleistungsbeton SWHB hergestellte Halbschale DN 300, L=1,0 m
2	H2195-2	Rohrhalbschalen zur Bestimmung des Abriebs			Geklinkerte Halbschale DN 300, L=1,0 m
3	B1 bis B10	Bohrkerne für Einlagerungsversuche	03.03.2017	AG	Bohrkerne aus Hochleistungsbeton SWHB (d=43 mm, L=190 mm)
4	E1 bis E10	Bohrkerne für Einlagerungsversuche	03.03.2017	AG	Bohrkerne aus Fugenmörtel/Fugen-Estrich (d=43 mm, L=190 mm)
5	H2221-1 bis -3	Würfel zur Bestimmung der Wassereindringtiefe	27.04.2017	AG	Würfel aus Hochleistungsbeton SWHB (Kantenlänge L=150 mm)
6	H2222-1 bis -3	Würfel zur Bestimmung der Wassereindringtiefe	27.04.2017	AG	Würfel aus Fugenmörtel/Fugen-Estrich (Kantenlänge L=150 mm)
7	H2223-1 bis -10	Zylinder für Festigkeitsuntersuchungen	27.04.2017	AG	Zylinder aus Hochleistungsbeton SWHB (d=150 mm, L=300 mm)
8	H2224-1 bis -10	Zylinder für Festigkeitsuntersuchungen	27.04.2017	AG	Zylinder aus Fugenmörtel/Fugen-Estrich (d=150 mm, L=300 mm)

Durchgeführte Prüfungen

Nr.	Prüfungsart	Prüfvorschrift	Prüfkörper Nr.	Prüfkörperherstellung
2	Prüfung des Abriebs in der Darmstädter Kipprinne	DIN EN 295-3	H2195-1 und -2	Prüffertig im IKT angelieferte Probekörper
3	Widerstand gegen biogenen Schwefelsäureangriff	DIN 19573, Anhang A	B1 bis B10 E1 bis E10	Im IKT angelieferte Probekörper wurden halbiert und für die Einlagerung gemäß Norm vorbereitet und konditioniert.
4	Wassereindringprüfung	DIN EN 12390-8	H2221-1 bis -3 H2222-1 bis -3	Prüffertig im IKT angelieferte Probekörper
5	Spaltzugfestigkeitsprüfung	DIN EN 12390-6	H2223-6 bis -10 H2224-6 bis -10	Prüffertig im IKT angelieferte Probekörper
6	Druckfestigkeitsprüfung	DIN EN 12390-3	H2223-1 bis -5 H2224-1 bis -5	Prüffertig im IKT angelieferte Probekörper

INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung und Prüfgegenstand	4
2	Untersuchungsprogramm	6
3	Versuchsdurchführung und -ergebnisse	7
3.1	Prüfung der Abriebfestigkeit	7
3.2	Prüfung der chemischen Beständigkeit	11
3.2.1	Ausgangssituation	11
3.2.2	Versuchsdurchführung	11
3.2.3	Versuchsergebnisse – Druckfestigkeiten und Korrosionstiefen.....	18
3.2.4	Zusammenfassung.....	22
3.3	Materialkennwerte im Vergleich	23
3.3.1	Wassereindringtiefe	23
3.3.2	Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit.....	25
4	Zusammenfassung.....	27
5	Literatur.....	28

1 Veranlassung und Prüfgegenstand

Die Betonwerk Bieren GmbH (nachfolgend AG) bietet derzeit Schachtunterteile aus Beton nach DIN EN 1917 [1] / DIN V 4034-1 [2] und FBS-Qualitätsrichtlinie [3] mit einem von Hand geklinkerten Gerinne an (vgl. Abb. 1). Um zukünftig die Einflüsse einer manuellen Fertigung der Gerinne zu reduzieren und so eine einheitliche und höherwertige Qualität von Schachtunterteilen anbieten zu können, wurde ein schalungserhärtetes Schachtunterteil in monolithischer Bauweise aus Hochleistungsbeton SWHB nach DIN EN 1917 [1] / DIN V 4034-1 [2] und FBS-Qualitätsrichtlinie [3] entwickelt.

Die Vorteile dieses neuen Schachtunterteils zeigen sich nach Angaben des Herstellers insbesondere in folgenden Eigenschaften:

- Der monolithische Schacht ist prozessoptimiert und besitzt eine entsprechend hohe Präzision in der Fertigung. Der Einfluss von handwerklichem Können auf die Qualität ist deutlich geringer als bei einem Schacht mit geklinkertem Gerinne.
- Die Zeitdauer von der Bestellung des Schachtes bis zur Lieferung auf die Baustelle ist erheblich kürzer, als bei einem Schachtunterteil mit geklinkertem Gerinne.
- Das Gerinne ist hydraulisch berechnet und wird maschinell gefräst. Es können auch komplizierte Gerinnewechsel strömungsoptimiert realisiert werden.
- Werkstoffwechsel bestehen nur noch zwischen dem Schacht und den Dichtungselementen (Minimierung der Werkstoffwechsel).
- Durch die Verwendung eines Hochleistungsbetons SWHB besitzt das Schachtunterteil eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Schmutz- und Mischwasser.



A: Ausführung des Schachtunterteils aus Mauerwerk mit drei Rohranschlüssen



B: Ausführung des Schachtunterteils aus Hochleistungs-Monolithbeton SWHB mit drei Rohranschlüssen

Abb. 1: Schachtunterteile gemäß DIN V 4034-1; Typ 2 – SU – M – 1000 x 800 [2]

Um die Vorteile und Leistungsfähigkeit des Hochleistungsbetons SWHB und der monolithischen Fertigung gegenüber dem händischen Ausbau der Schächte mit geklinkerten Gerinnen aus Mauerwerk aufzuzeigen, wurde das IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, Gelsenkirchen, mit der Umsetzung des nachfolgend dargestellten Untersuchungsprogramms beauftragt.

2 Untersuchungsprogramm

Das Untersuchungsprogramm umfasst die folgenden Prüfungen:

1. Widerstand gegenüber Nass-Verschleiß

Die Abriebfestigkeit des monolithisch hergestellten, schalungserhärteten Hochleistungsbetons SWHB und des von Hand geklinkerten Gerinnes wird nach DIN EN 295-3 [4] ermittelt.

2. Widerstand gegenüber biogenem Schwefelsäureangriff

Der Widerstand gegenüber biogenem Schwefelsäureangriff wird nach DIN 19573, Anhang A [5], an Prüfkörpern des Hochleistungsbetons SWHB und des Fugen-Estrichs für die Herstellung der geklinkerten Gerinne prüftechnisch bewertet und vergleichend dargestellt.

3. Materialkennwerte

Es werden die Materialkennwerte Druck- und Spaltzugfestigkeit sowie die Wassereindringtiefe [8, 9, 7] an Prüfkörpern des Hochleistungsbetons SWHB und des Fugen-Estrichs für die geklinkerten Gerinne überprüft.

3 Versuchsdurchführung und -ergebnisse

3.1 Prüfung der Abriebfestigkeit

Im Bereich des Gerinnes sind die Schachtunterteile durch den ständigen Abwasserfluss und die mitgeführten Abwasserinhaltsstoffe, wie Fäkalien, Winterstreusplitt und andere in die Kanalisation gelangte Feststoffe, einer Verschleißbeanspruchung ausgesetzt. Eine hohe Beständigkeit gegenüber dem Abrieb durch ein Wasser-Feststoff-Gemisch ist daher ein wesentliches Kriterium für eine lange Nutzungsdauer der verwendeten Bauteile.

Die Beständigkeit von Werkstoffen für den Einsatz in Kanalisationen gegenüber Abrieb wird heute üblicherweise mit der Abriebprüfung in der Darmstädter Kiprinne nach DIN EN 295-3 [4] untersucht. Um diese Prüfung durchführen zu können, stellten Mitarbeiter des AG ein Meter lange Halbschalen DN 300 aus Hochleistungsbeton SWHB und aus dem Mauerwerk der geklinkerten Gerinne her (vgl. Abb. 2).



A: Rohrhalbschale aus Hochleistungsbeton SWHB



B: Gerinne aus Mauerwerk (Klinker und Fugenmörtel)

Abb. 2: Probekörper der Abriebprüfung

Versuchsdurchführung

Zur Ermittlung der Abriebtiefe wird die Sohllinie auf einer Länge von 700 mm an 71 Punkten vermessen. Im Randbereich an den Enden des Probekörpers bleiben jeweils 150 mm bei der Auswertung unberücksichtigt, da hier verfahrensbedingt nahezu kein Abrieb auftritt. Die Messwerte werden mittels einer Messuhr (Mitutoyo, Serien-Nr.: 12116292) aufgenommen. Die Messtoleranz des Messfühlers beträgt $\pm 0,02$ mm.

Nach der Nullmessung vor der Prüfung wurde der Probekörper zur Untersuchung des Abriebverhaltens in die Darmstädter Kippbinne des IKT eingebaut. Es folgt die Installation der Stirnplatten zum seitlichen Abschluss des Probekörpers, so dass anschließend gemäß [4] eine Menge von 5,0 kg natürlichem, rundkörnigem, unebrochenem Kies in den Prüfraum gegeben werden kann. Dieser wird schließlich bis zu einer Füllstandshöhe von 38 ± 2 mm mit Wasser aufgefüllt.

Danach wurde der Probekörper mit einer Platte abgedeckt und die Prüfung begonnen. Der Prüfkörper wird wechselweise in Längsrichtung um $\pm 22,5^\circ$ geneigt, so dass durch die Bewegung des Kies-Wasser-Gemisches die Abriebwirkung erzeugt wird. Der Kippvorgang hat einen sinusförmigen Verlauf mit einer Frequenz von 20 Lastspielen je Minute. Nach 100.000 Lastwechseln wurde das Kies-Wasser-Gemisch entnommen, der Probekörper gesäubert, ausgebaut und die Sohllinie erneut vermessen.

Versuchsergebnisse

Als Ergebnis des Abriebversuches gilt die mittlere Eintiefung a_m nach 100.000 Lastwechseln gegenüber dem 1 Ursprungszustand. Abb. 3 zeigt exemplarisch die Oberfläche des Hochleistungsbetons SWHB nach dem Abriebversuch. Der Randbereich der Halbschale (Bild A) weist eine vergleichsweise glatte Oberfläche auf, während im mittleren Bereich der Halbschale (Bild B) der Abrieb durch Freiliegen des oberflächennahen Zuschlags erkennbar ist.



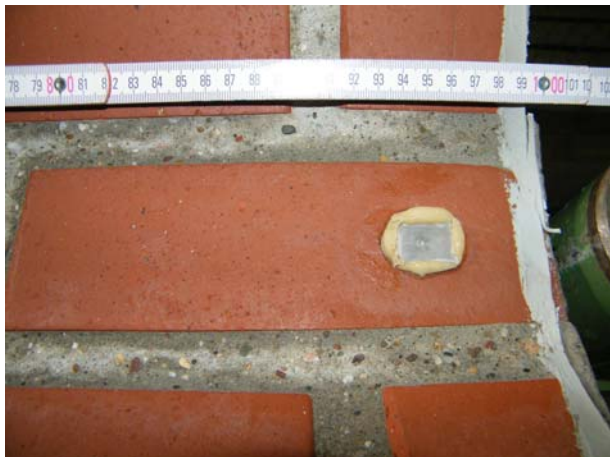
A: Abrieb im Randbereich der Rohrhalbschale



B: Abrieb in der stärker beanspruchten Mitte der Halbschale

Abb. 3: Abrieb an der Halbschale aus Hochleistungsbeton SWHB

Abb. 4 zeigt Bereiche der Oberfläche des Mauerwerks nach dem Abriebversuch. Der Randbereich der Halbschale (Bild A) weist ebenso wie der mittlere Bereich auf den Klinkern (Bild B) einen nur vergleichsweise geringen Abrieb auf, während in den Mauerwerksfugen der Abrieb durch Freiliegen und geringfügiges Herausstehen des oberflächennahen Zuschlags deutlich erkennbar ist.



A: Abrieb im Randbereich des geklinkerten Gerinnes



B: Abrieb in der stärker beanspruchten Mitte der Halbschale

Abb. 4: Abrieb an dem Gerinne aus Mauerwerk

Tabelle 1 zeigt die mittleren und maximalen Werte des gemessenen Abriebs für den Hochleistungsbeton SWHB und das Mauerwerk der geklinkerten Gerinne.

Die Abriebprüfung am Mauerwerk für die geklinkerten Gerinne zeigt erhebliche Unterschiede in der Abriebfestigkeit der Klinkersteine und des Fugen-Estrich der Mauerwerksfugen. Erwartungsgemäß besitzen die Klinkersteine mit einem maximalen Abrieb von 0,74 mm eine hohe Abriebfestigkeit und die Mauerwerksfugen aus Fugen-Estrich mit einem maximalen Abrieb von 1,66 mm eine geringe. Dies führt zu einem mittleren Abrieb von 0,41 mm für das Mauerwerk, wobei zu beachten ist, dass der Flächenanteil der Fugen an der Gerinneoberfläche mit nur drei Fugen in der Sohllinie verhältnismäßig gering ist.

Tabelle 1: Ergebnisse der Abriebprüfungen

Probenbez. IKT	Material für den Schachtausbau	Mittlerer Abrieb a_m nach 100.000 Lastwechseln	Maximaler Abrieb nach 100.000 Lastwechseln
		[mm]	[mm]
H2195-1	Hochleistungsbeton SWHB	0,65	1,07
H2195-2	Mauerwerk (Klinker und Fugen-Estrich)	0,41	-
	<i>nur Klinker</i>	-	0,74
	<i>nur Fugen-Estrich</i>	-	1,66

Fazit

Die Ergebnisse für den Hochleistungsbeton SWHB liegen mit einem mittleren Abrieb von 0,65 mm und einem maximalen Abrieb von 1,07 mm geringfügig über den Werten für Mauerwerk bzw. für Kanalklinker. Bei einem Vergleich mit dem maximalen Abrieb für den Fugen-Estrich der Mauerwerksfugen von 1,66 mm zeigt sich allerdings der Vorteil des monolithisch hergestellten Gerinnes aus Hochleistungsbeton SWHB gegenüber der Bauweise mit geklinkertem Gerinne. Hinzu kommt, dass bei dem Hochleistungsbeton SWHB der Abrieb gleichmäßiger über die beanspruchte Fläche verteilt ist, als bei einem Mauerwerk, bei dem der Abrieb der Fugen zu einer unregelmäßig strukturierten Oberfläche führt.

3.2 Prüfung der chemischen Beständigkeit

3.2.1 Ausgangssituation

Um die höhere Beständigkeit des Hochleistungsbetons SWHB im Vergleich mit dem Fugen-Estrich der geklinkerten Gerinne darzustellen, wurde die Prüfung des Widerstands gegen biogenen Schwefelsäureangriff nach DIN 19573, Anhang A [5], durchgeführt. Hiernach erfolgt die Prüfung unter Anwendung eines zeittraffenden Prüfverfahrens, bei dem der Widerstand eines Mörtels gegen biogener Schwefelsäurekorrosion im Vergleich zu einem Referenzmörtel bewertet wird.

Für die Versuche werden Bohrkerne aus dem Hochleistungsbeton SWHB und dem Fugen-Estrich der geklinkerten Gerinne entnommen und nach entsprechender Konditionierung (vgl. [5]) in Schwefelsäure mit pH-Werten von 0 und 1 für 14 bzw. 70 Tage eingelagert. Zur Beurteilung des Korrosionswiderstandes werden die relative Restdruckfestigkeit und die Korrosionstiefe an den säuregelagerten Bohrkernen im Verhältnis zu wassergelagerten Referenzprobekörpern ermittelt.

3.2.2 Versuchsdurchführung

Herstellung und Aufbewahrung von Proben

Um Probekörper aus dem Hochleistungsbeton SWHB und dem Fugen-Estrich gewinnen zu können, stellten Mitarbeiter des AG Bohrkerne mit einem Durchmesser von 43 mm und einer Höhe von 150 mm her und übergaben diese dem IKT. Die Prismen des Referenzmörtels entsprechend DIN 19573 [5] sowie zusätzliche zylindrische Referenz-Prüfkörper mit 50 mm Durchmesser wurden zeitgleich durch Mitarbeiter des IKT hergestellt. Diese Referenzmörtelprismen dienen zur internen Kontrolle der Versuchsdurchführung und definieren die Grenzwerte bezüglich Restdruckfestigkeit und Korrosionstiefe nach [5], die einzuhalten sind, um die Anforderungen an den Widerstand eines Mörtels für die Expositions klasse XWW4 zu erfüllen.

In der Folge wurden die Probekörper gemäß [5] für 6 Tage unter Wasser bei $(20 \pm 2)^\circ$ Celsius und anschließend in einer Klimakammer bei einer Temperatur von $(20 \pm 2)^\circ$ Celsius und einer relativen Luftfeuchtigkeit von $(95 \pm 5) \%$. Am 14. Tag nach ihrer Herstellung

wurden die Probekörper mittels Nass-Sägeschnitt auf die erforderliche Länge von 80 mm zugeschnitten. Danach lagern die Proben noch für 2 Tage unter Wasser.

Ab dem 28. Tag werden die Probekörper dann bei einer Flüssigkeitsüberdeckung von mindestens 5 mm für 14 Tage in Schwefelsäure mit einem pH-Wert 0 und für 70 Tage in Schwefelsäure mit einem pH-Wert 1 auf Gitterrosten bei $(21 \pm 2)^\circ$ Celsius eingelagert. Der Abstand der einzelnen Probekörper untereinander sowie zu den Behälterwandungen beträgt dabei mindestens 10 mm (vgl. Abb. 6 und Abb. 8). Die Säurelösungen werden durch Magnetrührer ständig bewegt.

Vor der Einlagerung wurden die Abmessungen der Probekörper mit Hilfe eines Messschiebers (Mitutoyo, Serien-Nr.: 197746) mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,05$ mm erfasst.

Abb. 5 zeigt beispielhaft einige zylindrische Probekörper aus dem Fugen-Estrich (Abb. 5A) und dem Hochleistungsbeton SWHB (Abb. 5B) vor Beginn der Einlagerung.



A: Zylindrische Probekörper aus dem Gerinne-Estrich



B: Zylindrische Probekörper aus dem Hochleistungsbeton SWHB

Abb. 5: Beispiele für Probekörper vor der Einlagerung in Schwefelsäure

Schwefelsäure pH 0: Ein- und Auslagerung von Probekörpern

Die jeweils fünf zylindrischen Probekörper aus dem Hochleistungsbeton SWHB und dem Fugen-Estrich liegen zusammen mit den jeweils fünf Prismen und Zylindern des Referenzmörtels in einem Behälter mit Schwefelsäure pH 0. Der pH-Wert des Säurebades lag in dem zulässigen pH-Bereich von 0,00 bis 0,02 (vgl. Abb. 6A) und ist durch tägliche Nachtitration nahezu konstant gehalten worden. Die Lösung wurde während der 14-tägigen Einlagerungsdauer nicht gewechselt.



A: *Tägliche Kontrollmessung der Schwefelsäure pH 0*



B: *Abbürsten eines Probekörpers nach Entnahme aus dem Säurebad*

Abb. 6: *Probekörper im Schwefelsäurebad pH 0 und unmittelbar nach der Auslagerung*

Nach Abschluss der pH 0-Einlagerung wurden die Probekörper unter fließendem Wasser mit einer weichen Messingbürste von losem Material befreit (Abb. 6B).

Abb. 7 zeigt stellvertretend für die jeweiligen Probekörper-Serien ein Beispiel aus Hochleistungsbeton SWHB und Fugen-Estrich nach der Wasserlagerung sowie unmittelbar nach der Auslagerung aus dem pH 0 Säurebad und nach dem Entfernen von losen Bestandteilen.



A: Wassergelagerter Probekörper (Hochleistungsbeton SWHB)



B: Wassergelagerter Probekörper (Fugen-Estrich)



C: Probekörper (Hochleistungsbeton SWHB) nach Entnahme aus Säurebad pH 0



D: Probekörper (Fugen-Estrich) nach Entnahme aus Säurebad pH 0



E: Abgebürsteter Probekörper (Hochleistungsbeton SWHB)



F: Abgebürsteter Probekörper (Fugen-Estrich)

Abb. 7: Probekörper aus Hochleistungsbeton SWHB (linke Spalte A,C,E) und aus Fugen-Estrich (rechte Spalte B,D,F) nach der Auslagerung

Schwefelsäurebad pH 1: Ein- und Auslagerung von Probekörpern

Die jeweils fünf zylindrischen Probekörper aus dem Hochleistungsbeton SWHB und dem Fugen-Estrich liegen zusammen mit den jeweils fünf Prismen und Zylindern aus dem Referenzmörtel in einem Behälter mit Schwefelsäure pH 1. Der pH-Wert des Bades wird durch eine rechnergesteuerte Titrationsanlage konstant auf $\text{pH } 1 \pm 0,03$ gehalten (vgl. Abb. 8). Die Lösung wurde während der 70-tägigen Einlagerungsdauer wöchentlich gewechselt.



A: Schwefelsäurebad mit rechnergesteuerter Titrationsanlage



B: Lagerung der Probekörper im Säurebad

Abb. 8: Versuchsaufbau der pH 1-Einlagerung

Nach Abschluss der pH 1-Säurelagerung wurden die Probekörper unter fließendem Wasser mit einer weichen Messingbürste von losem Material befreit (vgl. Abb. 6B).

Abb. 9 zeigt stellvertretend für die jeweiligen Probekörper-Serien ein Beispiel aus Hochleistungsbeton SWHB und Fugen-Estrich nach der Wasserlagerung sowie unmittelbar nach der Auslagerung aus dem pH 1-Säurebad und nach dem Entfernen von losen Bestandteilen.



A: Wassergelagerter Probekörper (Hochleistungsbeton SWHB)



B: Wassergelagerter Probekörper (Fugen-Estrich)



C: Probekörper (Hochleistungsbeton SWHB) nach Entnahme aus Säurebad pH 1



D: Probekörper (Fugen-Estrich) nach Entnahme aus Säurebad pH 1



E: Abgebürsteter Probekörper (Hochleistungsbeton SWHB)



F: Abgebürsteter Probekörper (Fugen-Estrich)

Abb. 9: Probekörper aus Hochleistungsbeton SWHB (linke Spalte A,C,E) und aus Fugen-Estrich (rechte Spalte B,D,F) nach der Auslagerung

Einlagerung der Referenzprobekörper in Wasser

Die jeweils fünf zylindrischen Probekörper aus dem Hochleistungsbeton SWHB und dem Fugen-Estrich liegen zusammen mit den jeweils fünf Prismen und Zylindern aus dem Referenzmörtel in einem Behälter mit Leitungswasser. Die Temperatur liegt hier in einem Be-

reich von $20 \pm 2^\circ$ Celsius, die Dauer der Wasserlagerung beträgt analog zur Einlagerungsdauer der Probekörper in den beiden Säurebädern 14 und 70 Tage.

Vorbereitung der Probekörper für die Druckfestigkeitsprüfung

Die säuregelagerten Proben sowie die zugehörigen, wassergelagerten Referenzproben werden am selben Tag aus der Bad entnommen und in Anlehnung an DIN EN 196-1 [6] auf Druckfestigkeit geprüft. Als Vorbereitung für die Druckfestigkeitsprüfungen wurden die Probekörper zunächst mit einer weichen Messing-Handbürste unter Wasser von losen Bestandteilen befreit. Anschließend wurden die Prismen und Zylinder (vgl. Abb. 10) mittig aus den jeweiligen Probekörpern herausgesägt und die Schnittflächen für die Krafteinleitung planparallel geschliffen.



A: Probekörper für die Druckfestigkeitsprüfung (Hochleistungsbeton SWHB nach Wasserlagerung)



C: Probekörper für die Druckfestigkeitsprüfung (Fugen-Estrich nach Wasserlagerung)



B: Probekörper für die Druckfestigkeitsprüfung (Hochleistungsbeton SWHB nach Säurelagerung)



D: Probekörper für die Druckfestigkeitsprüfung (Fugen-Estrich nach Säurelagerung)

Abb. 10: Exemplarische Darstellung der geschnittenen und geschliffenen Probekörper aus Hochleistungsbeton SWHB (linke Spalte) und Fugen-Estrich (rechte Spalte)

3.2.3 Versuchsergebnisse – Druckfestigkeiten und Korrosionstiefen

3.2.3.1 Schwefelsäure pH 0

Druckfestigkeit des Fugen-Estrichs

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse für die wassergelagerten Referenzproben des Fugen-Estrichs, die parallel zu den Proben im Schwefelsäurebad pH 0 geprüft wurden.

Tabelle 2: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen des Fugen-Estrichs nach Wasserlagerung für 14 Tage (Referenzprobe)

Referenzprobe Fugen-Estrich nach 14-tägiger Wasserlagerung		
Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
E6.2	39,9	27,0
E7.2	39,6	27,0
E8.2	55,0	37,0
E9.2	36,9	24,6
E10.2	34,9	23,6
Mittelwert	41,3	27,8
Standardabweichung	8,0	5,3

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung an den Probekörpern des Fugen-Estrichs aufgeführt, die zuvor in Schwefelsäure pH 0 eingelagert waren. Darüber hinaus sind die relative Restdruckfestigkeit und die rechnerische Korrosionstiefe angegeben.

Tabelle 3: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen des Fugen-Estrichs nach Einlagerung in Schwefelsäure pH 0 für 14 Tage

Fugen-Estrich nach 14 Tagen in Schwefelsäure pH 0		
Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
E6.1	8,8	5,9
E7.1	12,3	8,4
E8.1	14,0	9,4
E9.1	19,1	12,7
E10.1	10,8	7,3
Mittelwert	13,0	8,8
Standardabweichung	3,9	2,6
Relative Restdruckfestigkeit [%]	31,7	
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ [mm]	9,5	

Druckfestigkeit des Hochleistungsbetons SWHB

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse für die wassergelagerten Referenzproben des Hochleistungsbetons SWHB, die parallel zu den Proben im Schwefelsäurebad pH 0 geprüft wurden.

Tabelle 4: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen des Hochleistungsbetons SWHB nach Wasserlagerung für 14 Tage (Referenzproben)

Hochleistungsbeton SWHB nach 14-tägiger Wasserlagerung		
Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
B6.2	140,1	93,4
B7.2	126,6	84,4
B8.2	139,8	93,2
B9.2	149,3	99,5
B10.2	146,0	97,3
Mittelwert	140,4	93,6
Standardabweichung	8,7	5,8

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung an den Probekörpern des Hochleistungsbetons SWHB aufgeführt, die zuvor in Schwefelsäure pH 0 eingelagert waren. Darüber hinaus sind die relative Restdruckfestigkeit und die rechnerische Korrosionstiefe angegeben.

Tabelle 5: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen des Hochleistungsbetons SWHB nach Einlagerung in Schwefelsäure pH 0 für 14 Tage

Hochleistungsbeton SWHB nach 14 Tagen in Schwefelsäure pH 0		
Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
B6.1	87,5	58,3
B7.1	82,2	54,8
B8.1	85,9	57,3
B9.1	85,1	56,7
B10.1	81,7	54,5
Mittelwert	84,5	56,3
Standardabweichung	2,5	1,6
Relative Restdruckfestigkeit [%]	60,1	
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ [mm]	5,0	

3.2.3.2 Schwefelsäure pH 1

Druckfestigkeit des Fugen-Estrichs

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse für die wassergelagerten Referenzproben des Fugen-Estrichs, die parallel zu den Proben im Schwefelsäurebad pH 1 geprüft wurden.

Tabelle 6: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen des Fugen-Estrichs nach Wasserlagerung für 70 Tage (Referenzprobe)

Referenzprobe Fugen-Estrich nach 70-tägiger Wasserlagerung		
Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
E1.2	59,9	39,8
E2.2	68,9	46,1
E3.2	36,1	24,0
E4.2	53,4	35,6
E5.2	63,8	42,3
Mittelwert	56,4	37,6
Standardabweichung	12,7	8,5

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung an den Probekörpern des Fugen-Estrichs aufgeführt, die zuvor in Schwefelsäure pH 1 eingelagert waren. Darüber hinaus sind die relative Restdruckfestigkeit und die rechnerische Korrosionstiefe angegeben.

Tabelle 7: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen des Fugen-Estrichs nach Einlagerung in Schwefelsäure pH 1 für 70 Tage

Fugen-Estrich nach 70 Tagen in Schwefelsäure pH 1		
Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
E1.1	32,7	21,7
E2.1	38,9	26,1
E3.1	37,8	25,1
E4.1	30,1	20,1
E5.1	40,1	26,6
Mittelwert	35,9	24,5
Standardabweichung	4,3	3,0
Relative Restdruckfestigkeit [%]	65,1	
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ [mm]	4,4	

Druckfestigkeit des Hochleistungsbetons SWHB

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse für die wassergelagerten Referenzproben des Hochleistungsbetons SWHB, die parallel zu den Proben im Schwefelsäurebad pH 1 geprüft wurden.

Tabelle 8: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen des Hochleistungsbetons SWHB nach Wasserlagerung für 70 Tage (Referenzprobe)

Referenzprobe Hochleistungsbeton SWHB nach 70-tägiger Wasserlagerung		
Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
B1.2	156,0	103,5
B2.2	152,9	101,5
B3.2	128,9	85,5
B4.2	164,2	108,5
B5.2	144,4	95,4
Mittelwert	149,3	98,9
Standardabweichung	13,4	8,8

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung an den Probekörpern des Hochleistungsbetons SWHB aufgeführt, die zuvor in Schwefelsäure pH 1 eingelagert waren. Darüber hinaus sind die relative Restdruckfestigkeit und die rechnerische Korrosionstiefe angegeben.

Tabelle 9: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen des Hochleistungsbetons SWHB nach Einlagerung in Schwefelsäure pH 1 für 70 Tage

Hochleistungsbeton SWHB nach 70 Tagen in Schwefelsäure pH 1		
Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
B1.1	116,1	77,1
B2.1	114,9	76,3
B3.1	110,5	73,0
B4.1	108,9	71,9
B5.1	133,3	88,1
Mittelwert	116,7	77,3
Standardabweichung	9,7	9,7
Relative Restdruckfestigkeit [%]	78,2	
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ [mm]	2,5	

3.2.4 Zusammenfassung

Im Rahmen der Untersuchungen zur Prüfung der chemischen Beständigkeit des Hochleistungsbetons SWHB sowie des Fugen-Estrichs, der Bestandteil von Schachtausbauten aus Mauerwerk ist, konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Der Hochleistungsbeton SWHB erfüllt die Anforderungen der DIN 19573, Anhang A [5], und weist somit einen Widerstand gegenüber biogenem Schwefelsäureangriff auf, wie er für einen Beschichtungsmörtel der Klasse XWW4 gefordert wird.
- Der Fugen-Estrich erfüllt die Anforderungen nach DIN 19573 [5] hingegen nicht.

Für die Ausführung der Schachtunterteile mit geklinkertem Gerinne kann daher nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass sich infolge der Korrosion des Fugen-Estrichs bei einem starken Angriff durch Schwefelsäure einzelne Klinkersteine aus dem Verbund lösen.

Die nachfolgende Tabelle 10 gibt eine Übersicht zur Leistungsfähigkeit der beiden Materialien hinsichtlich des Widerstandes gegenüber einem biogenen Schwefelsäure-Angriff.

Tabelle 10: Darstellung der zusammengefassten Prüfergebnisse nach 14 und 70 Tagen Auslagerung in Schwefelsäure pH 0 und pH 1

Eigenschaften	Fugen-Estrich		Hochleistungsbeton SWHB	
	14 Tage pH 0	70 Tage pH 1	14 Tage pH 0	70 Tage pH 1
Wasserreferenzlagerung mit Druckfestigkeit in N/mm ²	27,8	37,6	93,6	98,9
Säurelagerung mit Restdruckfestigkeit in N/mm ²	8,8	24,5	56,3	77,3
Relative Restdruckfestigkeit in %	31,7	65,1	60,1	78,2
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ aus dem Restdruckfestigkeitsverhältnis in mm	9,5	4,4	5,0	2,5
Das Material erfüllt die Anforderungen	<i>nein</i>	<i>nein</i>	<i>ja</i>	<i>ja</i>
Relative Restdruckfestigkeit in %	< 55	< 75	> 55	> 75
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ in mm	> 5,2	> 2,7	< 5,2	< 2,7

3.3 Materialkennwerte im Vergleich

3.3.1 Wassereindringtiefe

Die Wassereindringprüfung wird gemäß DIN EN 12390-8 [7] an Materialproben aus dem Hochleistungsbeton SWHB und dem Fugen-Estrich, der für die Schachtunterteile mit geklinkertem Gerinne verwendet wird, durchgeführt. Die Probekörper werden über eine Zeitdauer von 72 Stunden in die Prüfvorrichtung eingespannt (Abb. 11A bis C) und mit einem Wasserdruck von 5 bar beaufschlagt. Nach Ablauf der Prüfzeit werden die Probekörper ausgebaut, gespalten (Abb. 11D bis F) und die Wassereindringtiefe an den Bruchflächen visuell ermittelt. Nach Spaltung der Proben zeigte sich allerdings, dass an dem Hochleistungsbeton SWHB ein Wassereindrang visuell und messtechnisch nicht erfasst werden konnte.



A: Probekörper 1 während der Prüfung



B: Probekörper 2 während der Prüfung



C: Probekörper 3 während der Prüfung



D: Probekörper 1 ohne erkennbaren Wassereindrang



E: Probekörper 2 ohne erkennbaren Wassereindrang



F: Probekörper 3 ohne erkennbaren Wassereindrang

Abb. 11: Wassereindringprüfung an Probekörpern aus Hochleistungsbeton SWHB

Ein vollkommen anderes Bild zeigte die Wassereindringprüfung an den Proben aus Fugen-Estrich. Bereits wenige Minuten nach dem Start der Prüfung zeigte sich an allen drei Probekörpern ein Feuchtigkeits- bzw. Wasseraustritt aus den Seitenwänden (vgl. Abb. 12B). Offensichtlich war der Widerstand gegenüber dem aufgebracht Wasserdruck ge-

ring, so dass Wasser sehr schnell durch den Fugen-Estrich bis zur seitlichen Oberfläche des Würfels gelangen konnte. Die Prüfung musste daraufhin abgebrochen werden.



A: Probekörper in der Prüfeinrichtung



B: Probekörper 2 mit Wasseraustritt aus der Seitenwand oberhalb der Fingerspitze nach ca. 5 min Prüfzeit



C: Probekörper 3 mit sichtbarem Feuchtigkeitsaustritt an der Außenseite nach ca. 2 min Prüfzeit

Abb. 12: Wassereindringprüfung an Probekörpern aus dem Fugen-Estrich

Fazit

Die Wassereindringtiefe konnte an dem Fugen-Estrich nicht bestimmt werden, da innerhalb kürzester Zeit Wasser in unterschiedlichen Höhenlagen an den freien Seitenflächen der Probekörper austrat. Dies zeigt, dass der Fugen-Estrich einen hohen Anteil an Poren aufweist, die das Eindringen von schädlichen Abwasserinhaltsstoffen begünstigen.

An den Probekörpern aus dem Hochleistungsbeton SWHB konnte dagegen kein visuell sowie messtechnisch erfassbarer Wassereindrang festgestellt werden.

3.3.2 Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit

Druckfestigkeit

Um die Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit der beiden Varianten vergleichen zu können, hat der AG zylindrische Probekörper mit einem Durchmesser von ca. 150 mm und einer Höhe von ca. 300 mm aus dem Hochleistungsbeton SWHB sowie dem Fugen-Estrich hergestellt. Die Prüfungen der Druckfestigkeit erfolgten in Anlehnung an DIN EN 12390-3 [8], die Spaltzugprüfung gemäß DIN EN 12390-6 [9].

Nach Aussage des AG wurde mit Blick auf die Verdichtung der Materialien bei der Probekörperherstellung darauf geachtet, dass diese analog zur Herstellung der entsprechenden Schachtunterteile erfolgt. In Tabelle 11 und 15 sind die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen aufgeführt, in Tabelle 13 und 17 die Ergebnisse der Spaltzugfestigkeitsprüfungen.

Tabelle 11: Druckfestigkeiten des Fugen-Estrichs

Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
H2224-1	246,8	13,7
H2224-2	227,5	12,6
H2224-3	275,2	15,2
H2224-4	203,4	11,3
H2224-5	277,8	15,4
Mittelwert	246,14	13,6
Standardabweichung	31,7	1,8

Tabelle 12: Druckfestigkeiten des Hochleistungsbetons SWHB

Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit f_D [N/mm ²]
H2223-1	1.308	72,4
H2223-2	1.574	87,1
H2223-3	1.278	70,7
H2223-4	1.432	79,2
H2223-5	1.449	80,2
Mittelwert	1.408	77,9
Standardabweichung	119,7	6,6

Spaltzugfestigkeit

Tabelle 13: Spaltzugfestigkeit des Fugen-Estrichs

Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit fct [N/mm ²]
H2224-6	155,1	2,15
H2224-7	139,4	1,90
H2224-8	133,7	1,85
H2224-9	132,5	1,80
H2224-10	139,4	1,95
Mittelwert	140,0	1,93
Standardabweichung	9,0	0,10

Tabelle 14: Spaltzugfestigkeit des Hochleistungsbetons SWHB

Prüfkörper	Bruchlast F [kN]	Spaltzugfestigkeit fct [N/mm ²]
H2223-6	538,0	7,45
H2223-7	483,0	6,70
H2223-8	514,0	7,05
H2223-9	550,0	7,60
H2223-10	486,0	6,75
Mittelwert	514	7,10
Standardabweichung	30,1	0,40

Fazit

Im Ergebnis zeigt sich, dass der Hochleistungsbeton SWHB im Vergleich zum Fugen-Estrich etwa die 6 fache Druckfestigkeit und eine ca. 3,5 fache Spaltzugfestigkeit besitzt.

4 Zusammenfassung

Um die Gleichwertigkeit von schalungserhärteten Schachtunterteilen in monolithischer Bauweise aus Hochleistungsbeton SWHB gegenüber Schachtunterteilen mit geklinkerten Gerinnen aufzuzeigen, wurden Prüfungen durchgeführt, mit denen die Leistungsfähigkeit dieser neuen Schächte dargestellt werden konnte.

Im Ergebnis zeigt sich, dass schalungserhärtete Schachtunterteile in monolithischer Bauweise aus Hochleistungsbeton SWHB zu einer Verbesserung des Widerstands gegenüber biogenem Schwefelsäureangriff sowie zu einer höheren Abriebfestigkeit im Vergleich zum Fugen-Estrich der Schachtunterteile mit geklinkertem Gerinne führen. Hinzu kommt, dass bei dem Hochleistungsbeton SWHB der Abrieb gleichmäßiger über die beanspruchte Fläche verteilt ist, als bei einem Mauerwerk, bei dem Abrieb und Korrosion der Fugen zur Folge haben können, dass sich eine unregelmäßig strukturierte Oberfläche einstellt und ggf. einzelne Klinkersteine lösen. Darüber hinaus ist es denkbar, dass in abgetragenen Fugen Schwimmstoffe an den Klinkersteinen hängen bleiben.

Bei den Wassereindringtiefen sowie der Spaltzug- und Druckfestigkeit liefert der Hochleistungsbeton SWHB ebenfalls deutlich bessere Werte.

Hinsichtlich der im vorliegenden Bericht geprüften Eigenschaften zeigen schalungserhärtete Schachtunterteile in monolithischer Bauweise aus Hochleistungsbeton SWHB nach DIN EN 1917 / DIN V 4034-1 und FBS-Qualitätsrichtlinie eine höhere Leistungsfähigkeit als Schachtunterteile mit geklinkerten Gerinnen nach DIN EN 1917 / DIN V 4034-1 und FBS-Qualitätsrichtlinie.

Monolithische Fertigung mit Hochleistungsbeton SWHB	
<i>Besondere Eigenschaften</i>	<i>Vorteile</i>
Fugenloses, monolithisch hergestelltes Gerinne aus Hochleistungsbeton SWHB	Hohe Beständigkeit gegen Abrieb mit gleichmäßigem Verschleiß über das gesamte Gerinne. Keine Verwendung von Kanalklinkern, daher kein Herauslösen von Klinkern aus Verbund möglich.
Hochleistungsbeton SWHB - Keine messbare Wassereindringtiefe - Hohe Druckfestigkeit	Erhöhte Beständigkeit gegen biogenen Schwefelsäureangriff.

5 Literatur

- [1] DIN EN 1917: 2003-04; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton; Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin; April 2003.
- [2] DIN V 4034-1: 2004-08; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen für Abwasserleitungen und -kanäle – Typ 1 und Typ 2 – Teil 1: Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität; Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin; August 2004.
- [3] FBS-Qualitätsrichtlinie; FBS-Qualitätssicherungssystem© FBS-Qualitätsrichtlinie Teil 2-1: Schachtfertigteile aus Beton und Stahlbeton in FBS-Qualität für erdverlegte Abwasserleitungen und -kanäle, Ausführungen, Anforderungen und Prüfungen; Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e. V. (FBS); 53179 Bonn; Stand 2011.
- [4] DIN EN 295-3: 2012-03; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle – Teil 3: Prüfverfahren; Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin; März 2012.
- [5] DIN 19573: 2016-03; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Mörtel für Neubau und Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin; März 2016.
- [6] DIN EN 196-1: 2005-05; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit; Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin; Mai 2005.
- [7] DIN EN 12390-8: 2009-07; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Prüfung von Festbeton – Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck; Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin; Juli 2009.
- [8] DIN EN 12390-3: 2009-07; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Prüfung von Festbeton – Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern; Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin; Juli 2009.
- [9] DIN EN 12390-6: 2010-09; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Prüfung von Festbeton – Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern; Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin; September 2010.