Betontechnologische Anforderungen, Betonzusammensetzung und Betoneinbau

# Betone mit erhöhtem Säurewiderstand beim Bau des Abwasserkanals Emscher

Manfred Götz, Frankfurt/Main

**Die Emschergenossenschaft gab nach langjähriger Planung den Startschuss für die Bauarbeiten des neuen unterirdischen Abwassersystems am Hauptlauf der Emscher. Zwischen Dortmund und Dinslaken übernimmt seit jeher ein offener Kanal die Aufgabe der Abwasserentsorgung. Mit dem Umbau der Emscher soll die Ökologie und die Lebensqualität der etwa 2,2 Mio. in der Region lebenden Menschen verbessert werden. In Zukunft wird der offene Kanal nur noch Quell- und Regenwasser abführen. Das Großprojekt wurde in mehrere Baulose unterteilt. Das umfangreichste Baulos BA30 wurde der Wayss & Freytag Ingenieurbau AG zugesprochen. Inbegriffen sind u.a. ca. 47 km Abwasserrohre und zahlreiche Schachtbauwerke. Hierfür ist ein Hochleistungsbeton mit erhöhtem Säurewiderstand (SW-Beton) zu verwenden. Der Beitrag schildert die hohen Anforderungen an den SW-Beton und die betontechnologische Umsetzung beim Baulos BA30 des „Emscher-Umbaus".**

## 1 Einleitung

Im März 2012 begannen die Arbeiten am Baulos BA30. Die Wayss & Freytag Ingenieurbau AG (W&F AG) hat den Bau des Emscher-Abwasserkanals zwischen Dortmund und Bottrop bis Januar 2017 zu realisieren. Innerhalb von 52 Monaten sind etwa 350000 m³ Beton zu verbauen. Davon fallen je ca. 100000 m³ Beton mit erhöhtem Säurewiderstand für die Herstellung der Schachtbauwerke und der Stahlbetonrohre des ca. 47 km langen Abwasserkanals an. Bild 1 zeigt den Verlauf der Emscher und seiner Nebenläufe sowie den Streckenverlauf des Bauloses BA30.

Aus Gründen der Qualitätssicherung sowie der Reduzierung des logistischen Aufwands erstellte die W&F AG ein eigenes Fertigteilwerk zur Produktion der Abwasserrohre. Die beiden Produktionshallen, inkl. der Lager- und Außenflächen, beanspruchen ein Areal von insgesamt 28000 m². Der Produktionsstart erfolgte im Sommer 2012. Die SW-Betonrohre weisen Durchmesser zwischen DN 1600 und DN 2800 mit Wanddicken von 20 cm bis 40 cm auf. Insgesamt werden ca. 110 Einzelhaltungen aufgefahren.

Für die Herstellung der insgesamt ca. 80 Schachtbauwerke werden die konventionelle Kletter-, aber auch die Gleitschalungstechnik eingesetzt. In Abhängigkeit von der Schachtgröße kann sich die Betonage der Schächte im Gleitbauverfahren über eine Dauer von bis zu 190 Stunden erstrecken. Demzufolge müssen verschiedene betontechnologische Aspekte im Vorfeld der Betonierarbeiten berücksichtigt und untersucht werden [1].

## 2 Anforderungen an den Beton

### 2.1 Grundsätzliches

Aufgrund der Komplexität, des enormen Investitionsvolumens und der Bedeutung des Großprojekts für die Region wurde für das unterirdische Abwassersystem eine Mindestnutzungsdauer von 100 Jahren festgelegt [2]. Diese Anforderung, in Verbindung mit den Umgebungsbedingungen der Bauteile, erfordert eine Konzipierung von Betonzusammensetzungen mit einer hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber Chlorid- und chemischem Angriff.

Das neue Abwassersystem an der Emscher ist ein teilgefüllter Kanal mit einer langsamen Fließgeschwindigkeit des Abwassers. In diesem Fall muss mit einem Korrosionsangriff durch biogen entstehende Schwefelsäure gerechnet werden, die den Beton lösend und treibend angreifen kann. Vereinfacht formuliert entsteht diese durch Entweichen des Schwefelwasserstoffs aus dem Abwasser und der darauffolgenden Ablagerung an der Betonoberfläche unter Beteiligung von Mikroorganismen [3].

### 2.2 Anforderungen gem. ZTV-Emscher

Aus den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen des Emscher-Projekts (ZTV-Emscher) [4, 5] geht die maßgebende Qualitätsanforderung an die SW-Betone hervor. In Tafel 1 sind die grundlegenden Anforderungen an die SW-Betone zusammenfassend dargestellt. Weitere Kriterien, die den Säurewiderstand betreffen, sind in Tafel 2 enthalten. Um die Einbausicherheit zu erhöhen, ergänzte bzw. präzisierte die W&F AG einige der gestellten Anforderungen. Diese bezogen

Bild 1: Emscherabwasserkanal, Hauptlauf und Nebenläufe

**Der Autor:**

**Dipl.-Ing. Manfred Götz** ist gelernter Maurer und studierte Bauingenieurwesen im Fachbereich Konstruktiver Ingenieurbau der FH Frankfurt. In seiner langjährigen Tätigkeit arbeitete er 16 Jahre als Betoningenieur und Leiter des Baustofflabors bei Hochtief Frankfurt/Main. Weitere 14 Jahre arbeitete er in der Transportbeton- und Zementindustrie, wo er als Leiter des Baustofflabors und Bauberater tätig war. Seit 2003 ist Manfred Götz Prüfstellenleiter und seit Juli 2005 Leiter der Betontechnologie innerhalb der Stabs-Abteilung Baustofftechnologie bei der Wayss & Freytag Ingenieurbau AG.

sich z.B. auf den Zielwert der Konsistenz mit einem Ausbreitmaß bei Übergabe von (550 ± 20) mm, die Forderung nach einer geringen Klebrigkeit bzw. Zähigkeit des Frischbetons hinsichtlich besserer Verarbeitbarkeit und die Begrenzung der max. Bauteiltemperatur (< 60 °C).

## 3 Entwicklung der Betonzusammensetzung

### 3.1 Voruntersuchungen im Baustofflabor der W&F AG

Gemäß den Vertragsbedingungen war es dem Auftragnehmer (AN) freigestellt, wie er die Betonzusammensetzung entwirft. Zur Auswahl stand zum einen die Variante A „Betonzusammensetzung nach Vorgaben des Auftraggebers (AG)" und zum anderen die Variante B, für die der AN eine Performance Prüfung durchzuführen hat.

Das zentrale Baustofflabor der W&F AG begann im Januar 2012 mit der Entwicklung der Betone mit erhöhtem Säurewiderstand für die Herstellung der Abwasserrohre und der Schachtbauwerke. Die umfangreichen Untersuchungen beinhalteten neben der Bestimmung der Frisch- und Festbetoneigenschaften auch die geforderten Prüfungen der Beton-, Zement- und Zusatzstoffproben gem. ZTV-Emscher.

Die Prüfungen umfassten die Bestimmung des Sulfatwiderstands (Wittekindt-Verfahren), der Porosität und des kumulativen Porenvolumens. Weiterhin wurden der Elektrolytwiderstand (Wenner-Sonde) und die Chloridmigration nach dem Verfahren von Tang und Schießl gemessen (s. Tafel 2).

Nach Herstellung und Prüfung von ca. 800 Probekörpern (Würfel, Zylinder) konnten dem AG die ausführungsreifen Betonzusammensetzungen vorgelegt werden. Die Gesamtmenge der ins W&F-Baustofflabor angelieferten Ausgangsstoffe belief sich auf etwa 48 t. Dabei wurden ca. 100 unterschiedliche Ausgangsstoffe beprobt.

In Tafel 3 ist die vom AG vorgegebene Betonzusammensetzung (Variante A) des Schachtbetons als „Beton I" und die im W&F-Baustofflabor entwickelte Zusammensetzung (Variante B) des Schachtbetons als „Beton II" angegeben. Die vom AG vorgegebene Betonzusammensetzung des Rohrbetons (Variante A) ist als „Beton III" und die zugehörige, von W&F entwickelte Zusammensetzung (Variante B), als „Beton IV" bezeichnet. „Beton V" und „Beton VI" bezeichnen die Betonzusammensetzungen von angefragten Transportbetonherstellern.

Erfahrungen im Entwurf von Betonen mit erhöhten Säurewiderstand weist das Baustofflabor der W&F AG aufgrund der zuvor erfolgreich abgeschlossenen Kühlturmprojekte auf.

**Tafel 1: Allgemeine und spezielle Anforderungen an die SW-Betone gem. ZTV-Emscher**

| Allgemeine Anforderungen | | Schachtbeton | Rohrbeton |
|---|---|---|---|
| Druckfestigkeitsklasse | | C35/45 | C50/60 |
| Obergrenze der Druckfestigkeit | N/mm² | 85 | 90 |
| Expositionsklassen[1] | | XC4, XD2, XA3, XM2 | |
| Konsistenzklasse | | F3/F4 | F3 oder C3 |
| Frischbetontemperatur | °C | ≥ 10 und ≤ 25 | k.A. |
| Frischbetonalter zum Ende des Einbaus[2] | min | max. 75 | max. 90 |
| Variante A – spezielle Anforderungen | | | |
| Mindestzementgehalt[3] | kg/m³ | 250 | 250 |
| Gehalt an Flug- + Feinstflugasche[4] | M.-% v.b | ≥ 25 | – |
| Gehalt an Flugasche + Silikastaub[5] | M.-% v.b | – | ≥ 30 |
| Bindemittelgehalt b (Zement + Zusatzstoffe) | kg/m³ | ≤ 330 | ≤ 350 |
| w/z-Wert bzw. w/b-Wert | – | ≤ 0,42 | ≤ 0,42 |
| Mehlkorngehalt- bzw. Mehlkorn- und Feinstsandgehalt | kg/m³ | bis 0,125 mm ≥ 360 | bis 0,25 mm ≥ 410 |
| Anteil der Korngruppe[6] | Vol.-% | 16/32 ≥ 35 | 8/16 ≥ 50 |
| Variante B | Performance-Prüfung entsprechend den Prüfkriterien und Grenzwerten nach Tafel 2 | | |

[1] Die Expositionsklasse XM2 gilt nur für den Rohrbeton.
[2] Das Frischbetonalter beschreibt den Zeitraum vom ersten Kontakt zwischen Wasser und Zement bis zum endgültigen Einbau des Betons.
[3] CEM I 32,5 HS/NA oder CEM I 42,5 HS/NA [4] Masseverhältnis Flugasche/Feinstflugasche: 1/1
[5] Masseverhältnis Flugasche/Silikastaub: 2,75/1
[6] Begrenzung des Größtkorns der Gesteinskörnung auf 16 mm für den Rohrbeton

**Tafel 2: Prüfkriterien und Grenzwerte gem. ZTV-Emscher für Betone der Variante B und Untersuchungsergebnisse ausgewählter SW-Betone**

| Prüfkriterium | | | Grenzwert | Erstprüfungsergebnisse der Performance-Prüfung an Probekörpern im Alter von 56 d | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Beton I | Beton II | Beton III | Beton IV | Beton V | Beton VI |
| Säurewiderstand[1] (Schädigungstiefe) | | mm | < 1,3 | 1,15 | 1,15 | 1,05 | 1,2 | 1,15 | 1,15 |
| Gesamtporosität[2] | | Vol.-% | < 11 | 9,3 | 9,1 | 7,4 | 8,3 | 9,2 | 10,7 |
| Kumulatives Porenvolumen[2] < 0,1 mm | | mm³/g | < 40 | 38 | 33 | 30 | 38 | 40 | 37 |
| Mittlerer Porenradius[2] < 0,1 mm | | µm | 0,1 | 0,037 | 0,028 | 0,040 | 0,035 | 0,036 | 0,046 |
| Chloridmigrationskoeffizient[3] | 28 d | m²/s | $< 1 \times 10^{-12}$ | 2,28 | 1,36 | 1,35 | 1,48 | k.A. | k.A. |
| | 56 d | | | 0,96 | 0,75 | 0,73 | 0,94 | 0,79 | 0,82 |
| Elektrolytwiderstand[4] | 28 d | k Ω cm | – | 23,8 | 83,8 | 50 | 35 | 43,3 | k.A. |
| | 56 d | | | 45,5 | 101,2 | 96,7 | 57,6 | k.A. | 84,8 |

[1] Verfahren MPA Berlin-Brandenburg (Lagerung 12 Wochen $H_2SO_4$, pH 3,5) [2] Porenbereich < 100 µm (HG-Druckporosimetrie)
[3] Verfahren nach Tang, Schießl [4] Ermittlung der Messwerte mit Wenner-Sonde

### 3.2 Betonlieferung und endgültig eingesetzte Zusammensetzung

Nach Auftragserteilung wurden ergänzend auch Zusammensetzungen von Transportbetonlieferanten geprüft. Die Bilder 2 und 3 zeigen die Ergebnisse einer Konsistenzprüfung, die mit einer solchen Zusammensetzung durchgeführt wurde. Fünf Minuten nach Wasserzugabe wurde ein Ausbreitmaß von a = 670 mm ermittelt (Bild 2), im Alter von 45 Minuten nach Wasserzugabe wurde ein sehr starkes Ansteifen des Betons dieser Mischung mit einem Ausbreitmaß von a = 310 mm (Bild 3) festgestellt. Wei-

**Tafel 3 Zusammensetzung ausgewählter SW-Betone**

| | | Beton I | Beton II | Beton III | Beton IV | Beton V | Beton VI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gehalt Zement und Zusatzstoff | kg/m³ | 330[1)] | 350[2)] | 350[1)] | 370[3)] | 370[3)] | 360[3)] |
| $(w/z)_{eq}$ [4)] | | 0,42 | 0,43 | 0,42 | 0,43 | 0,41 | 0,43 |
| Gehalt an Gesteinskörnung | | | | | | | |
| Sand 0/2 | Vol.-% | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 39 |
| Kies 2/8 | Vol.-% | 12 | 12 | 15 | 25 | 17 | 17 |
| Kies 8/16 | Vol.-% | 18 | 26 | 50 | 39 | 48 | 44 |
| Kies 16/32 | Vol.-% | 35 | 27 | – | – | – | – |
| Gehalt an FM | Vol.-% v.z | 0,65 | 0,93 | 1,15 | 0,85 | 0,65 | 1,5 |

[1)] CEM I 42,5 R-HS/NA [2)] CEM III/A 42,5 N-NA [3)] CEM II/B-S 52,5 N-NA [4)] mit f = 0,33z und k = 0,4

**Tafel 4: Fesbetoneigenschaften ausgewählter SW-Betone (Erstprüfungsergebnisse)**

| | | Beton I | Beton II | Beton III | Beton IV | Beton V | Beton VI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Druckfestigkeit nach | | | | | | | |
| 2 d | N/mm² | 47 | 27 | 47 | 43 | 34 | 26 |
| 7 d | N/mm² | 64 | 55 | 71 | 63 | 56 | 41 |
| 28 d | N/mm² | 80 | 75 | 93 | 81 | 72 | 67 |
| Spaltzugfestigkeit nach 28 d | N/mm² | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 3 |
| Elastizitätsmodul nach 28 d | N/mm² | 39600 | 38900 | 40500 | 38100 | 35500 | 34100 |

**Bild 4: Herstellung großformatiger Probekörper für die Bestimmung der Verarbeitungsdauer**

tere Untersuchungen bestätigten die ungenügende Verarbeitbarkeit dieses Betons. In der Folge wurde der Gehalt an Zement und Zusatzstoff und die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnungen angepasst. Seitdem wird die optimierte Betonzusammensetzung „Beton VI" erfolgreich beim Rohrbeton und auch beim Ortbeton der Schächte, u. a. im Gleitbauverfahren, eingesetzt.

In Tafel 3 sind die Zusammensetzungen der Betone I bis VI aufgeführt, Tafel 2 enthält Ergebnisse von Prüfungen mit diesen Betonen. Die Angaben beziehen sich auf den Prüfzeitpunkt bzw. den Beginn der Prüfungen der Probekörper im Alter von 28 Tagen. Die physikalischen Erstprüfungsergebnisse der beschriebenen Betone sind in Tafel 4 dargestellt.

Entsprechend den örtlichen Baustellenbedingungen wurden insgesamt drei Betonmischanlagen vor Ort aufgestellt, sodass das Rohrwerk und die vorhandenen Schachtbaustellen entsprechend der Projektlage sicher beliefert werden können.

## 4 Bauausführung

### 4.1 Herstellung der Schachtbauwerke im Gleitbauverfahren

Die Verarbeitbarkeit des Betons stellt einen wichtigen Parameter bei der Sicherstellung der Bauteilqualität dar. Stehen große Betonagen an, muss die Verarbeitbarkeit an die zum Zeitpunkt des Betoneinbaus erwarteten Witterungsverhältnisse angepasst werden.

Für den Zeitpunkt der Herstellung des ersten Schachtbauwerks im Gleitbauverfahren wurden Lufttemperaturen von über 30 °C erwartet. Diese Umgebungs- und Einbaubedingungen erforderten eine verlängerte Verarbeitbarkeit des Betons. Im Rahmen der Vorversuche musste die optimale Zugabemenge eines Verzögerers (VZ) bestimmt werden. Das Verarbeitungsende sollte um mindestens 2,5 h verlängert werden.

#### 4.1.1 Vorversuche

Die unter Baustellenbedingungen durchgeführten Vorversuche beinhalteten u. a. die folgenden Prüfungen:

- Verarbeitbarkeitsdauer
- Sedimentationsstabilität
- Temperaturentwicklung
- Druckfestigkeit

Zur Bestimmung des optimalen VZ-Gehalts wurden im Vergleich zum Nullbeton („Beton VI") zusätzlich zwei Mischungen untersucht. Hierfür wählte man die nachfolgend aufgeführten VZ-Gehalte:

- SW-Beton ohne VZ
- SW-Beton mit einem VZ-Gehalt von 0,30 M.-% v.z
- SW-Beton mit einem VZ-Gehalt von 0,60 M.-% v.z

Der allgemein bekannte Einfluss eines Verzögerers auf die Festigkeitsentwicklung und die Betondruckfestigkeit im Alter von 28 Tagen konnte bestätigt werden (Tafel 5). Im Alter von 28 Tagen lag die Betondruckfestigkeit des Nullbetons um 8 N/mm² niedriger als die Zusammensetzung des SW-Betons mit ei-

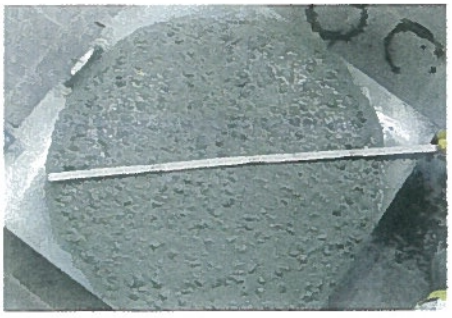

**Bild 2: Konsistenzprüfung (t = 5 min) – Beton V**

**Bild 3: Konsistenzprüfung (t = 45 min) – Beton V**

**Tafel 5: Druckfestigkeit nach 2, 7 und 28 d von Beton VI mit unterschiedlichem VZ-Gehalt**

| Probenalter [d] | Druckfestigkeit [N/mm²] | | |
|---|---|---|---|
| | ohne VZ | 0,30 M.-% v.z VZ | 0,60 M.-% v.z VZ |
| 2 | 33 | 33 | 30 |
| 7 | 50 | 47 | 50 |
| 28 | 63 | 66 | 71 |

nem VZ-Gehalt von 0,60 M.-% v.z. Das Festigkeitsniveau der Betonzusammensetzung mit 0,30 M.-% v.z Verzögerer lag genau dazwischen.

Mithilfe der Temperaturentwicklung des Betons wurde das Erstarrungsverhalten, die Zeit bis zum Temperaturanstieg um + 2 °C infolge Hydratation, bestimmt. Der Temperaturverlauf wurde an allseitig wärmegedämmten Probekörpern (300 mm x 300 mm x 300 mm) unter quasi adiabatischen Verhältnissen bestimmt. Ergänzend zu den Temperaturermittlungen untersuchte man die Verarbeitungsdauer durch Herstellung großformatiger Probekörper von ca. 1,80 m x 0,60 m x 0,60 m (Bild 4). Dazu verwendete man je zwei Mischungen SW-Beton mit einem VZ-Gehalt 0,60 M.-% v.z. Zunächst wurde jede Form bis zur Hälfte mit der 1. Mischung gefüllt. Nach ca. 3,5 h bzw. 4,25 h wurde dann jede Form mit der 2. Mischung vollständig aufgefüllt. Beide Mischungen wurden im Alter von ca. 60 min eingebaut. Die Vernadelung der Betonlagen erfolgte mit Innenrüttlern. Die Ergebnisse der Betonverdichtungsversuche wurden anhand entnommener Bohrkerne verifiziert. Eine ausreichende Vernadelung der Betonschichten konnte mit einem VZ-Gehalt von 0,60 M.-% v.z sogar noch nach ca. 4,25 h sichergestellt werden.

Eine erhöhte Wärmeentwicklung in Abhängigkeit von der zugegebenen Menge des Verzögerers konnte aus den Temperaturverläufen der wärmegedämmten Probekörper nicht festgestellt werden.

Der Einfluss des Verzögerers auf das Ausbreitmaß des Betons ist in Bild 5 dargestellt. Daraus lässt sich ablesen, dass ein erhöhter VZ-Gehalt (0,60 M.-% v.z) sowohl die Konsistenz als auch die Verarbeitungsdauer des Betons beeinflusst, ein geringerer VZ-Gehalt (0,30 M.-% v.z) hingegen nur die Verarbeitungsdauer. Die Konsistenzverläufe der Betone „SW-Beton ohne VZ" und „SW-Beton mit 0,30 M.-% v.z VZ" sind bis zum Zeitpunkt 80 min nach Wasserzugabe nahezu identisch. Danach setzt ein rasanter Abfall der Konsistenz beim „SW-Beton ohne VZ" ein. Der „SW-Beton mit 0,60 M.-% v.z VZ" zeigt über den gesamten Konsistenzverlauf bis zu 2 h ein für die erforderliche Verarbeitungsdauer ausreichendes Ausbreitmaß.

Eine verlängerte Verarbeitbarkeit des Frischbetons kann die Sedimentationsstabilität des Betons beeinflussen. Hierzu wurden ebenfalls Probekörper hergestellt und untersucht. Die Prüfung erfolgte analog dem DBV-Merkblatt „Selbstverdichtender Beton" (SVB) [6]. Hierfür wird der Frischbeton in einen Kunststoffzylinder – Durchmesser d = 10 cm und Höhe h = 100 cm – eingefüllt und nach dem Erhärten mittig in Achsrichtung aufgesägt (Bild 6).

### 4.1.2 Betonage

Während der 1. Gleitphase wurden Tageslufttemperaturen von bis zu 37 °C gemessen, in der Nacht sanken die Lufttemperaturen auf 13 °C bis 16 °C. Die Betonage erstreckte sich über einen Zeitraum von insgesamt 70 h. Zu Beginn wurde der Verzögerer mit

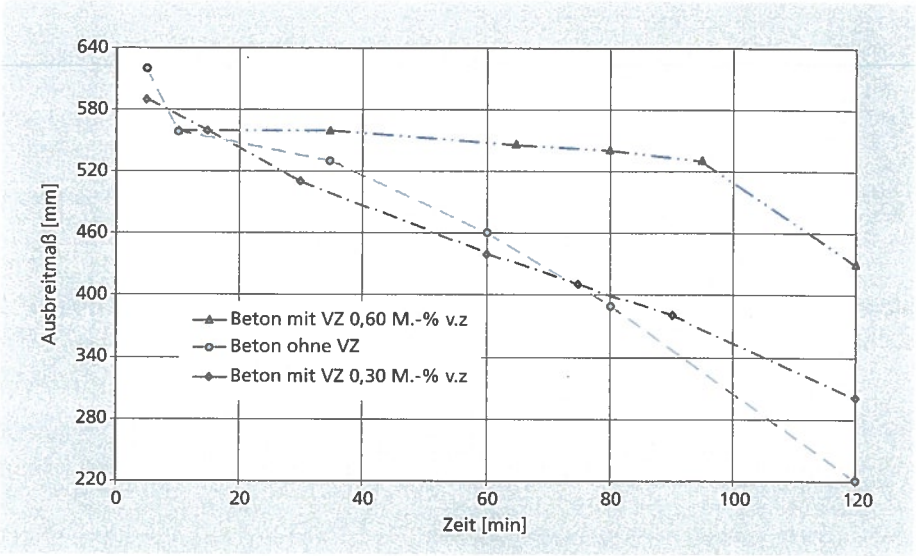


**Bild 5: Prüfung der Konsistenz von Beton VI mit unterschiedlichem VZ-Gehalt**

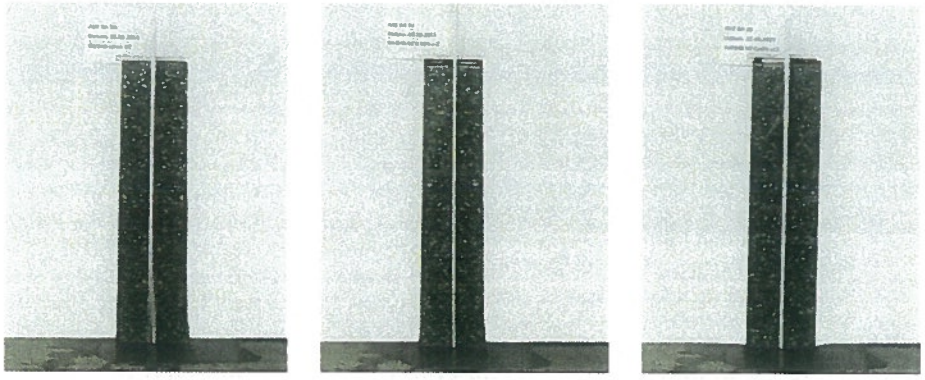

**Bild 6: Prüfung der Sedimentationsstabilität von Beton VI mit unterschiedlichem VZ-Gehalt (links ohne VZ, Mitte 0,30 M.-%v.z VZ, rechts 0,60 M.-%v.z VZ)**

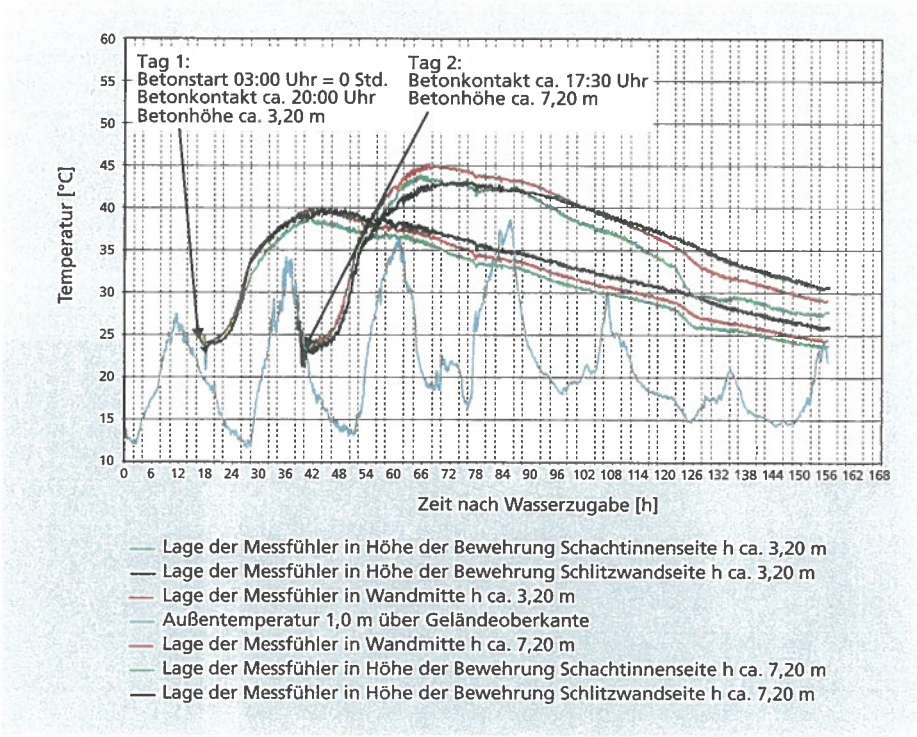


**Bild 7: Temperaturentwicklung des SW-Betons im Schachtquerschnitt**

Bild 8: Kübel mit elektrischem Schlauchverschluss zur Dosierung der Betoneinbaumenge

Bild 9: Stahlschalung zur Herstellung der Abwasserrohre

0,60 M.-% v.z dosiert und im Verlauf der Betonierarbeiten kontinuierlich auf 0,50 M.-% v.z reduziert. In Bild 7 ist die Temperaturentwicklung des eingebauten SW-Betons dargestellt. Die schwarzen Kurven zeigen die Temperaturverläufe der Messpunkte an der Schachtaußenseite zur Schlitzwand hin, die grünen Kurven stellen die Messpunkte auf der Schachtinnenseite dar. Die roten Kurven zeigen die Temperaturverläufe in der Wandmitte, während die hellblaue Kurve den Verlauf der Lufttemperatur darstellt.

Der für die Herstellung des Schachtbauwerks im Gleitbauverfahren eingesetzte Betonkübel ermöglicht einen kontrollierten Ausfluss des Betons. Die Dosierung der Ausflussmenge erfolgt mittels einer Klemmvorrichtung, die am Übergang zwischen Trichter und Schlauch montiert ist (Bild 8). Im geöffneten Zustand dreht sich das Rührwerk im Betonkübel, sodass der Beton ausfließen kann. Bei geschlossener Vorrichtung steht das Rührwerk. Die Bedienungsvorrichtung befindet sich am Schlauchende und wird vom Facharbeiter am Betonschlauch bedient.

### 4.2 Herstellung der Abwasserrohre

#### 4.2.1 Rohrfertigung im eigenen Rohrwerk

Die Produktion beinhaltet alle Durchmesser zwischen DN 1600 bis DN 2800.

Die Rohrschalung wurde für die Anforderungen der Emschergenossenschaft entwickelt. Die Außenschalung und der Innenkern sind als hydraulisch schließbare Stahlschalungen konzipiert (Bild 9). Das Schweißen der Bewehrungskörbe erfolgt durch einen Schweißautomaten (Punktschweißen), mit dem Korblängen von bis zu 4 m Länge hergestellt werden können. Das verwendete Betonier- und Verdichtungsgerät mit Innenrüttlern ist auf alle Ringdurchmesser automatisch verstellbar.

Gemäß ZTV-Emscher wird zur Erhärtung eine Mindeststandzeit von 8 h in Schalung gefordert. Danach müssen die Rohre 72 h lang unter einer Haube (Bild 10) oder in einer Klimakammer, vor Feuchtigkeitsentzug geschützt, auf der Untermuffe gelagert werden. Die Hauben-Variante findet im Rohrwerk Anwendung. Danach müssen die Rohre mindestens weitere sechs Tage stehend gelagert werden. Die Auslieferung der Rohre darf frühestens 15 Tage nach Herstellung erfolgen.

Das Heben und Versetzen der Rohre erfolgt im Werk und an den Schächten durch eine Vakuumhebeanlage (Bild 11), sodass auf den Einbau von Hebeankern verzichtet werden kann.

## 5 Qualitätssicherung

Die in Tafel 2 genannten Prüfkriterien und Grenzwerte mussten im Rahmen der Erstprüfungen nachgewiesen werden. Zur Qualitätssicherung gehören ebenfalls Prüfungen der Zemente und Zusatzstoffe, so z.B. die Bestimmung der Korngrößenverteilung mittels Lasergranulometrie sowie die Ermittlung der chemischen Zusammensetzung wichtiger Parameter bei den verwendeten Zementen und Flugaschen.

Der Beton mit erhöhtem Säurewiderstand ist gemäß ZTV-Emscher in die Überwachungsklasse 3 nach DIN 1045-3 einzustufen und der Einbau nach den hier beschriebenen Anforderungen zu überwachen.

Ein zentraler Punkt der Qualitätssicherung war demzufolge die gemeinsame Erstellung eines QS-Plans vom Betonhersteller und der W&F AG für die Herstellung, den Transport und die Abnahme des Betons sowie für die Betonverarbeitung.

Hohe Anforderungen werden ebenfalls an die Ausführungsqualität der Rohre gestellt. So wird z.B. jedes der hergestellten Abwasserrohre von einem Betoningenieur visuell überprüft. Bei Auslieferung der Rohre müssen Liefer- und Rohrbegleitschein die Angaben gemäß DIN EN 1916 und DIN V 1201 enthalten. Zudem ist die Endkontrolle zu vermerken und die Qualitätssicherung im Werk durch Unterschrift zu bestätigen. Hierdurch soll der Einbau schadhafter Rohre vermieden werden.

## 6 Stand der Arbeiten

Bisher wurden mehr als 20 Haltungen mit insgesamt ca. 13 km Länge aufgefahren. Ende Januar 2014 wurde der SW-Konstruktionsbeton des dritten Schachts im Gleitbauverfahren erstellt. Zurzeit (Februar 2014) laufen in den ersten Schächten die vorbereitenden Arbeiten zum Einbau des SW-Gerinnebetons. Die Bauarbeiten in diesem Bauabschnitt BA 30 laufen planmäßig noch bis Ende 2016 weiter.

### Literatur


[1] Abwasserkanal Emscher, Baulos 30. Ausarbeitungen, Prüfberichte und Projektunterlagen der Wayss & Freytag Ingenieurbau AG

[2] Emschergenossenschaft/Lippeverband: Die Emscher – Unterschätzte „Ader" des Ruhrgebiets, http://www.eglv.de/emschergenossenschaft/emscher.html, o.J., Einsichtnahme: 08.01.2014

[3] Grübl, P.; Weigler, H.; Karl, S.: Beton: Arten, Herstellung und Eigenschaften, 2. Auflage, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin 2001

[4] Abwasserkanal Emscher „Anlage 10.1: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Beton- und Stahlbetonarbeiten für Bauwerke im Wasser- und Abwasserbereich". Emscher Genossenschaft. Stand: 05.01.2011

[5] Abwasserkanal Emscher „Anlage 10.2: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Herstellung und Lieferung von Abwasserrohren aus Beton und Stahlbeton". Emscher Genossenschaft. Stand: 05.01.2011

[6] DBV-Merkblatt „Selbstverdichtender Beton (SVB) Fassung Dezember 2004". Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin 2005

Bild 10: Nachbehandlung der Abwasserrohre unter einer Haube

Bild 11: Vakuumhebeanlage zum Transport der Rohre an einen Schacht