



**HEIDELBERGER  
BETON**  
HEIDELBERGCEMENT Group

# TERRAFLOW®

Sonderdruck aus BFT Betonwerk +  
Fertigteil-Technik, Ausgabe 11/2010

## NEUES SELBSTVERDICHENDES VERFÜLLMATERIAL FÜR LEITUNGSRÄBEN

Von der Eignungsprüfung bis zur Qualitätssicherung

Raymund Böing, HeidelbergCement AG,  
Entwicklung und Anwendung

Martin Liebscher, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur,  
Gelsenkirchen

**BFT** INTERNATIONAL Concrete Plant + Precast Technology  
Betonwerk + Fertigteil-Technik

11 2010

Underground Construction  
New Self-Compacting Filling Material  
for Pipeline Structures

Structural Engineering  
Development of an Early-Use  
Design Tool

bau + verlag

**UNIQUE NEEDS  
TARGETED  
SOLUTIONS**

**BESONDERE  
ANSPRÜCHE**

MASSGESCHNEIDERTE  
LÖSUNGEN

**Wiggert+Co.**  
KARAO  
Advanced Mixing Technology  
www.wiggert.com

دائماً نتميزكم، سنتميزكم  
for all the world, we will always  
en todo el mundo. **Worldwide**  
في كل أنحاء العالم. **Worldwide**  
Plo BCCMY MIPDY  
في كل أنحاء العالم. **Worldwide**  
في كل أنحاء العالم. **Worldwide**



# New Self-compacting Filling Material for Pipeline Trenches From the Suitability Test to Quality Assurance

## Neues selbstverdichtendes Verfüllmaterial für Leitungsgräben Von der Eignungsprüfung bis zur Qualitätssicherung

Based on data provided by the German Federal Office of Statistics, the total length of all public sewer systems in Germany in 2001 was approx. 490.000 km [1]. A survey conducted by the German Association for Water Management, Sewage and Waste (DWA) in 2004 [1] found that of this approx. 20 % are in need of immediate to short-term repair. Additional 21.5 % were found to have minor damage and need to be repaired in the long-term (Fig. 1).

According to [1], the average costs for sewer rehabilitation determined based on the figures estimating the costs for repair, renovation and renewal in 2004 amount to 540 euros per meter repaired sewer. For the rehabilitation of damaged pipes in need of immediate or medium-term repair in the public sewer system, an amount of approx. 50 to 55 billion euros must therefore be reckoned with. From the standpoint of the national economy, a long-lasting repair should be aimed for. One option to achieve this goal is to renew such pipelines by open-cut construction method. Requisite for this is, among other things, the attainment of a perfectly executed pipe bedding. This results in requirements for the bedding materials and their installation.

### Initial situation

A perfectly executed pipe bedding and filling materials as free from settlement as possible for backfilling the pipe trench are of great significance in the new construction and/or replacement of sewers to ensure their long-term functioning. For this purpose, primarily non-cohesive, granular or cohesive bulk materials have so far been used. These materials require complex compaction. For some time, self-compacting backfilling materials are now being used for this purpose.

In principle, a distinction is made between the following bedding materials:

- » non-cohesive, granular bulk materials, e.g. sand 0/2,
- » sand-gravel 0/8 or granules of melting furnace slag
- » cohesive bulk materials, e.g. mineral mix or conditioned excavated soil
- » flowable to self-compacting filling materials using excavated soil or other starting materials (e.g. sand or similar).

The Ministry for the Environment and Conservation, Agriculture and Consumer Protection of the State of North Rhine-Westphalia commissioned the Department for Soil Mechanics and Foundation Engineering of Ruhr University Bochum and the IKT – Institute for Underground Infrastructure in Gelsenkirchen – already in 2004 to test bedding and filling materials in sewer construction [2]. The requirements specified for a bedding materials can be summarized as follows:

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes betrug die Gesamtlänge der öffentlichen Kanalisation in Deutschland in 2001 ca. 490.000 km [1]. Eine Umfrage der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) in 2004 [1] ergab, dass ca. 20 % hiervon sofort bis mittelfristig sanierungsbedürftig sind. Weitere 21,5 % weisen geringfügige Schäden auf und müssen langfristig saniert werden (Abb. 1).

Nach [1] betragen die mittleren Kosten für die Kanalsanierung, ermittelt aus den Kostenangaben zu Reparatur, Renovierung und Erneuerung, im Jahr 2004 rund 540 € je Meter instand gesetzten Kanal. Für die Sanierung der sofort bis mittelfristig zu behebbenden Schäden in der öffentlichen Kanalisation müssen somit rund 50 bis 55 Milliarden € veranschlagt werden. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist eine langlebige Sanierung anzustreben. Eine Option hierfür ist auch die Erneuerung der Leitung in offener Bauweise. Diese bedingt u. a. das Erreichen einer einwandfreien Rohrbettung. Hieraus ergeben sich Anforderungen an das Bettungsmittel und dessen Einbau.

### Ausgangssituation

Bei einem Neubau bzw. der Erneuerung von Kanalisationen sind das Erreichen einer einwandfreien Rohrbettung und die möglichst setzungsfreie Verfüllung des Kanalgrabens für die langfristige Funktionsfähigkeit von großer Bedeutung. Hierbei kamen bisher hauptsächlich nichtbindige, körnige oder bindige Schüttgüter zum Einsatz, die mit großem Aufwand lagenweise zu verdichten sind. Seit einiger Zeit kommen für diesen Zweck auch selbstverdichtende Verfüllbaustoffe zum Einsatz.

Prinzipiell lassen sich folgende Bettungsmittel unterscheiden:

- » nichtbindige, granulare Schüttgüter z.B. Sand 0/2, Sand-Kies 0/8 oder Schmelzkammergranulat
- » bindige Schüttgüter z.B. Mineralgemisch oder aufbereiteter Bodenaushub
- » fließfähige bis selbstverdichtende Verfüllmaterialien unter Verwendung des Bodenaushubs oder anderer Ausgangsstoffe (z.B. Sand oder ähnliches)

Bereits im Jahr 2004 beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW den Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik der Ruhruniversität Bochum und das IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur in Gelsenkirchen mit der Prüfung von Bettungs- und Verfüllmaterialien im Kanalbau [2]. Die u.a. auch dort genannten Anforderungen an ein Bettungsmittel lassen sich wie folgt zusammenfassen:

### Autoren



Dipl.-Ing. Raymund Böing  
Studium Bauingenieurwesen mit Studienrichtung „Konstruktiver Ingenieurbau“ an Universität Essen GH; ab 1984 Mitarbeiter der Forschung, Entwicklung und Beratung der Heidelberger Zement AG, Leimen, mit Schwerpunkten Betontechnologie und Bauberatung; ab 1998 Koordinator der Bauberatung beim Heidelberger Technology Center der Heidelberger Zement AG für Deutschland; ab 2000 Leiter Betontechnologie bei der Heidelberger Beton GmbH; seit 2004 Leiter Betontechnologie Transportbeton in der Abteilung Entwicklung und Anwendung der Heidelberg-Cement AG Zentraleuropa West; Leiter verschiedener technischer Gremien des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie (BTB); Delegierter des BTB in Gremien des DIN Normenausschuss Bauwesen und DAfStb  
Raymund.Boeing@Heidelberger-Beton.de



Martin Liebscher

1983 bis 1989 Studium des Bauingenieurwesens, Ruhr-Universität Bochum; 1989 – 1994 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ruhr-Universität Bochum, Arbeitsgruppe Leitungsbau und Leitungsinstandhaltung; seit 1994 Projektleiter und stellvertretender Leiter der vom DIBt anerkannten Prüfstelle für Bau-produkte am IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen  
 liebscher@ikt.de

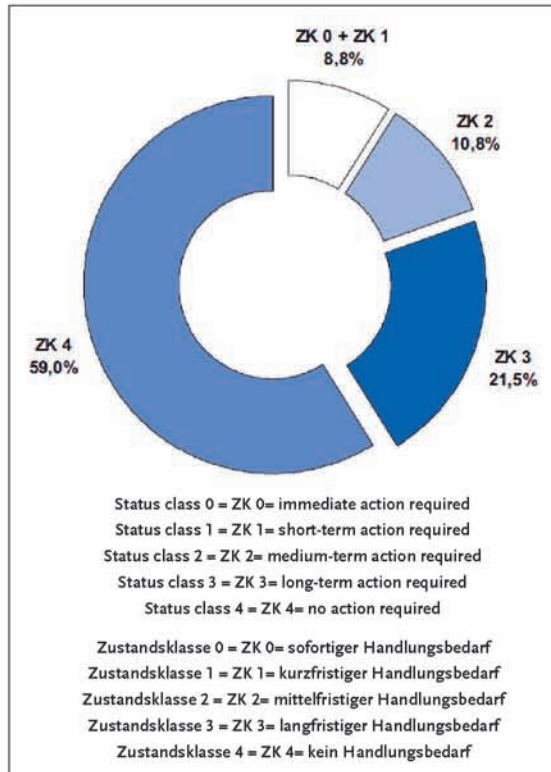


Fig. 1 Diagram of the repair requirements based on survey DWA 2004 [1].

Abb. 1 Diagramm Sanierungsbedarf Umfrage DWA 2004 [1].

- » good processability,
- » releasable by spade in its final condition,
- » only slight hardening after installation,
- » low settlement,
- » erosion-stable,
- » non-harmful to the pipe (mechanical, chemical),
- » environmentally sound,
- » durable.

In the research project, five non-cohesive bulk materials, two cohesive bulk materials and four flowable filling materials were included. The investigations also included investigations carried out on a test stand at the scale of 1:1. More details on the tests and the results can be found in the research report [2]. In summary it was concluded that a very good pipe bedding could be obtained with only two flowable filling materials and consequently only a low loading imposed on the pipe. With these two filling materials it is therefore basically possible to backfill pipeline trenches in a simple manner without additional compaction energy and to achieve a perfect pipe bedding (Fig. 2).

Fig. 2 Installed pipe.

Abb. 2 Eingebautes Rohr.



- » gute Verarbeitbarkeit,
- » im Endzustand spatelösbar
- » nur geringe Nacherhärtung,
- » setzungsarm,
- » erosionsstabil,
- » unschädlich für das Rohr (mechanisch, chemisch),
- » umweltverträglich,
- » dauerhaft.

In dem Forschungsprojekt wurden fünf nichtbindige Schüttgüter, zwei bindige Schüttgüter und vier fließfähige Verfüllmaterialien einbezogen. Die Untersuchungen beinhalteten auch Untersuchungen in einem Versuchsstand im Maßstab 1:1. Näheres zu den Prüfungen und den Ergebnissen kann dem Forschungsbericht [2] entnommen werden. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass nur mit zwei fließfähigen Verfüllbaustoffen eine sehr gute Rohrbettung erzielt werden konnte und damit eine nur geringe Rohrbelastung festzustellen war. Mit diesen ist es somit grundsätzlich möglich Leitungsrinnen in einfacher Art und Weise ohne zusätzliche Verdichtungsenergie zu verfüllen und eine einwandfreie Rohrbettung zu erzielen (Abb. 2). Beschädigungen an Rohrleitungen durch den Einsatz von Verdichtungsgeräten sind somit hier ausgeschlossen.

### TerraFlow®

Die Ergebnisse des oben genannten Forschungsvorhabens [2] führten in der Industrie zu weiteren Produktentwicklungen. So auch im Bereich der Heidelberger Beton GmbH. Als Messlatte dienten Ergebnisse des Forschungsvorhabens. Entstanden ist dabei das neue Produkt TerraFlow. Bevor auf die Prüfungen eingegangen wird, sollen nachfolgend einige Produktinformationen erläutert werden.

TerraFlow ist ein Flüssigboden aus dem Fahrmischer mit im verfestigten Zustand bodenähnlichen physikalischen Eigenschaften. Das Produkt setzt sich zusammen aus Sand, Zement, Wasser und dem TerraFlow-Compound. Bei diesem Compound handelt es sich um ein für den Anwendungsfall speziell entwickeltes Gemisch aus inerten natürlichen Gesteinsmehlen und natürlichen tonhaltigen Komponenten. Flüssige organische Ausgangsstoffe (z.B. Zusatzmittel) kommen in TerraFlow nicht zum Einsatz. Die Umweltauswirkung durch TerraFlow wurde am Hygiene Institut Gelsenkirchen geprüft. [3]

Anwendungsgebiete für fließfähige selbstverdichtende Verfüllbaustoffe sind:

- » Verfüllung von Gräben für z.B. Rohre aller Art (für Trink- und Abwasser, Gas, Fernwärme etc.), Strom- und Telekommunikationsleitungen,
- » Verfüllung von Baugruben (z.B. Wohnungsbau),
- » Hinterfüllungen etc.

TerraFlow bleibt auch nach der Verfestigung immer noch händisch mit üblichem Erdbauwerkzeug ausbaubar. Im Graben verlegte Rohrleitungen werden durch die entsprechende Konsistenz ohne zusätzliche Verdichtungsenergie vollständig umschlossen (Abb. 2). Das Material weist in verfestigter Form erdreichähnliche Eigenschaften auf und Setzungen des Materials nach Erstarrungsende sind bei sachgemäßem Einbau nicht zu erwarten.

TerraFlow kann für die Erstellung von Auflager-/Haltebänken bzw. Auftriebssicherungen auch in entsprechend steifer Konsistenz hergestellt werden. Dabei ist die Zusammensetzung in der Weise modifiziert, dass die Festigkeiten im Vergleich zur selbstverdichtenden Version nahezu gleich sind. Dies ist für eine gute Bettung

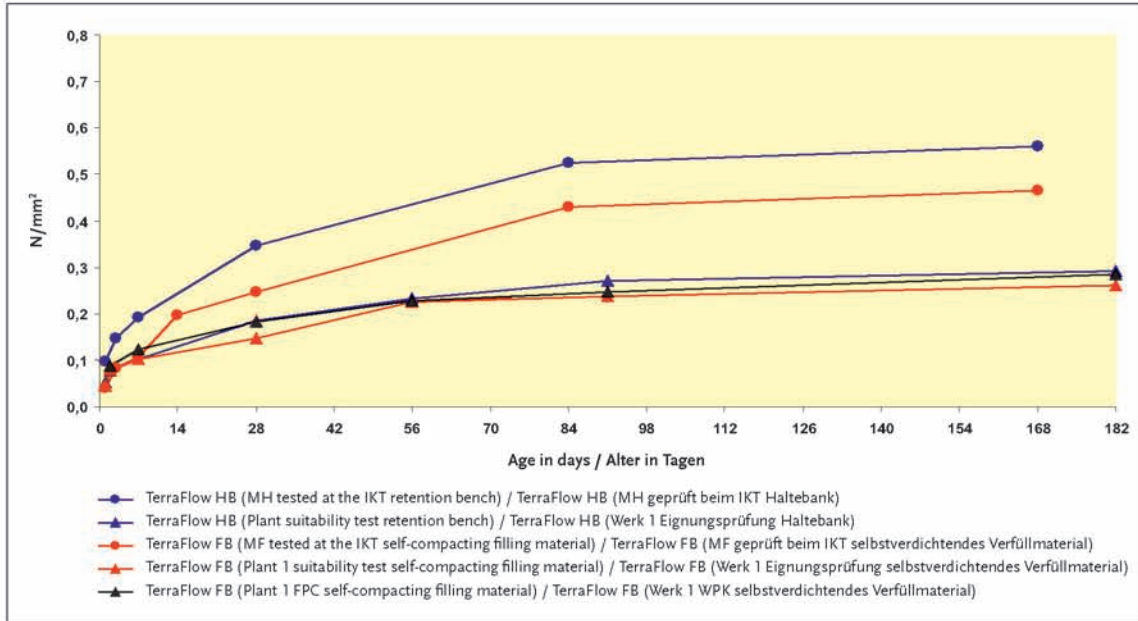


Fig. 3 Uniaxial compressive strength.

Abb. 3 Einaxiale Druckfestigkeit.

No damage to the pipelines caused by the use of compaction equipment can therefore occur.

### TerraFlow®

The results of the research project referred to above [2] led to further industrial product developments. Among others, by Heidelberger Beton GmbH. The findings of the research project served as benchmark. The result is the new product TerraFlow. Before discussing the tests, there follows a brief explanation of the product information.

TerraFlow is a liquid soil from the truck mixer whose physical properties in a hardened state resemble those of soil. The product is composed of sand, cement and the TerraFlow compound. This compound is a mix of inert natural rock powders and natural clayey components purpose-developed for a given application. Liquid organic initial constituents (e.g. admixtures) are not used in TerraFlow. The environmental impact of TerraFlow was tested at the Gelsenkirchen Hygiene Institute. [3]

Areas of application for flowable self-compacting filling materials are:

- » Backfilling of trenches for, e.g., pipes of all kind (for drinking water, wastewater, gas, district heat etc.), power and telecommunications lines
- » Backfilling of excavation pits (e.g. residential construction)
- » Backfill etc.

TerraFlow can still be manually handled by conventional soil-working tools even after it has hardened. Due to the materials' appropriate consistency, pipelines laid in open trenches are totally enclosed by the material without requiring additional compaction energy (Fig. 2). The properties of the solidified material are similar to natural soil and settlements of the hardened material are not expected, correct installation provided.

TerraFlow can also be manufactured in the consistencies required for supporting and retaining benches and/or buoyancy control measures. For these applications, the composition is modified in such a way that the hardened properties are nearly equal to the self-compacting version. This is of great significance for a good bedding of a pipeline with an all in all similar deformation behavior.

The quality assurance of TerraFlow consists of initial type testing, factory production control and third-party

der Rohrleitung mit insgesamt ähnlichem Verformungsverhalten sehr wichtig.

Die Qualitätssicherung von TerraFlow beinhaltet die Erstprüfungen, Eigen- und Fremdüberwachung im Transportbetonwerk und Kontrollprüfungen am eingebauten Produkt auf der Baustelle. Die Qualifikation des herstellenden und des verarbeitenden Personals ist von großer Bedeutung.

### Prüfungen an TerraFlow

Die Eignung von TerraFlow als selbstverdichtender Verfüllbaustoff für den Kanalgraben wurde beim IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur Gelsenkirchen geprüft. Ziel dieser Untersuchungen war der Nachweis der Eignung dieses Materials in Anlehnung an die Ergebnisse des o.g. Forschungsvorhabens [2].

Hierzu wurde ein umfangreiches Prüfprogramm absolviert, welches zunächst die Ermittlung der relevanten Materialeigenschaften und anschließend die Ermittlung der Bettungseigenschaften unter praxisnahen Bedingungen umfasste. Im Einzelnen wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

- » einaxiale Druckfestigkeit nach DIN 18136 [5],
- » Steifemodul im Kompressionsversuchen nach DIN 18135 [6],
- » Durchlässigkeit nach DIN 18130 [7],
- » Bettungseigenschaften,
- » Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 [8]

Geprüft wurde eine selbstverdichtende (MF) und eine steife (MH) Variante des TerraFlow. Die Rezepturen wurden so eingestellt, dass die einaxiale Druckfestigkeit nach 168 Tagen 0,60 N/mm<sup>2</sup> nicht überschreitet, sich beide Mi-

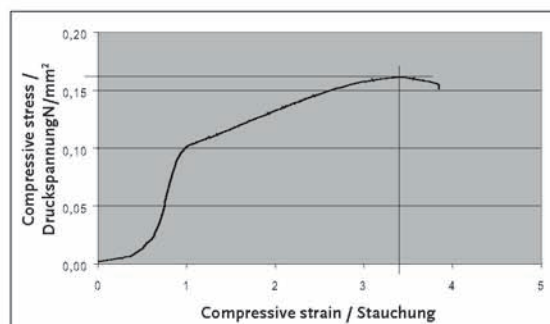


Fig. 4 Load line.

Abb. 4 Arbeitslinie.

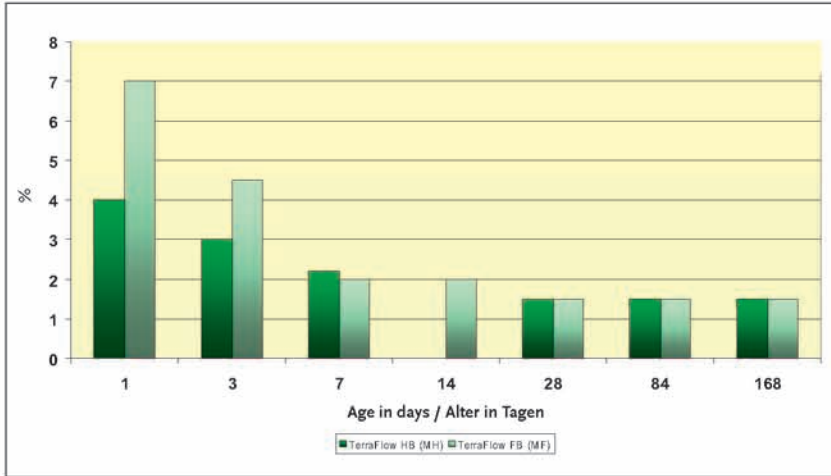


Fig. 5 Deformation at maximum uniaxial compressive strength DIN 18136. Tested at the IKT [2].

Abb. 5 Verformung bei maximaler einaxialer Druckfestigkeit DIN 18136. Geprüft beim IKT [2].

surveillance in the ready-mixed concrete plant and control tests on the installed product at the construction site. The qualification of the personnel working in production and processing is of great significance.

### Tests on TerraFlow

The fitness of TerraFlow for use as a self-compacting construction filler material for sewer trenches was tested at the IKT – Gelsenkirchen Institute for Underground Infrastructure. The objective of these investigations was to demonstrate the fitness of this material for the intended use, based on the results of the research project mentioned above [2].

Towards this end, a comprehensive test program was performed on the material, starting with the determination of the relevant material properties and followed by establishing the bedding properties under realistic conditions. The following tests were carried out:

- » Uniaxial compressive strength in accordance with DIN 18136 [5],
- » Stiffness modulus in compression tests in accordance with DIN 18135 [6],
- » Permeability in accordance with DIN 18130 [7,]
- » Bedding properties,
- » Plate load test in accordance with DIN 18134 [8].

Tested were a self-compacting (MF) and a stiff (MH) variant of TerraFlow. The mix designs were so adjusted that

Description	Based on structural calculation according to ATV-D-VWK A 127	Test results
Maximum vertical pipe deformation	1.20 % (-6.20 mm)	0.17 % (0.84 mm)
Maximum stress in the pipe wall	186 N/mm <sup>2</sup> (1085 µm/m)	36 N/mm <sup>2</sup> (210 µm/m)

Table 1 Comparison of the structural calculation with the results of the experiment to the scale of 1:1.

Bezeichnung	nach statischer Berechnung gemäß ATV-DVWK A 127	Versuchsergebnisse
maximale vertikale Rohrverformung	1,20 % (-6,20 mm)	0,17 % (0,84 mm)
maximale Spannung in der Rohrwand	186 N/mm <sup>2</sup> (1085 µm/m)	36 N/mm <sup>2</sup> (210 µm/m)

Tabelle 1 Vergleich der statischen Berechnung mit Ergebnissen des Versuchs im Maßstab 1:1.

schungen in dieser Eigenschaft nicht wesentlich unterscheiden und ein nennenswerter weiterer Anstieg der Festigkeit nicht zu erwarten ist.

### Einaxiale Druckfestigkeit, Steifemodul und Durchlässigkeit

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit erfolgte verformungsgesteuert an Würfeln mit einer Kantenlänge von 15 cm in Anlehnung an DIN 18136 [5]. Abb. 3 zeigt u.a. die IKT-Ergebnisse beider TerraFlow-Varianten. Die einaxiale Druckfestigkeit beider Mischungen liegt im Alter von 168 Tagen unter 0,60 N/mm<sup>2</sup> und unterscheidet sich im Ergebnis nur unwesentlich. Der Verlauf beider Festigkeitskurven macht deutlich, dass ein nennenswerter Anstieg der einaxialen Druckfestigkeit und damit eine Verschlechterung der Lösbarkeit nicht zu erwarten ist.

DIN 18136 [5] fordert, bei der Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit die Verformung der Probe aufzuzeichnen. Abb. 4 zeigt die Arbeitslinie einer solchen Prüfung. Hierbei ergab sich bei einer einaxialen Druckfestigkeit von 0,16 N/mm<sup>2</sup> eine Probenstauchung von 3,3 % (Probenalter 7 d). Diese Parameter geben Auskunft über das Verformungsverhalten des Materials.

Abb. 5 stellt die Verformungsentwicklung beider geprüften TerraFlow-Varianten in einem Diagramm dar und zeigt nach wenigen Tagen identische Verläufe beider Kurven. Dies unterstützt eine gleichmäßige Bettung der Rohrleitung.

Ein weiterer Parameter zur Beurteilung des Verformungsverhaltens liefert der Kompressionsversuch nach DIN 18135 [6]. Hierbei wird bei definierten Laststufen die Verformung der Probe aufgezeichnet. Die Auswertung der Ergebnisse ergibt den sogenannten Steifemodul. Die für den Leitungsbau übliche Laststufe beträgt 100 kN/m<sup>2</sup>. Die Prüfungen bei dieser Laststufe ergaben für den selbstverdichtenden TerraFlow (MF) einen Steifemodul von 20273 kN/m<sup>2</sup> und für den steifen TerraFlow (MH) von 19325 kN/m<sup>2</sup>. Auch die Ergebnisse des Kompressionsversuchs zeigen, dass beide geprüften TerraFlow-Varianten ein sehr ähnliches Verformungsverhalten aufweisen.

Bei der Verfüllung eines Grabens kommt überwiegend ein fließfähiger bis selbstverdichtender Verfüllbaustoff zum Einsatz. Daher wurde die Bestimmung der Durchlässigkeit gemäß DIN 18130 [7] nur am selbstverdichtenden TerraFlow (MF) durchgeführt. Die Prüfung ergab einen für tonigen Schluff üblichen Durchlässigkeitswert k von 10<sup>-7</sup> m/s.

### Bettungseigenschaften - Versuche im Maßstab 1:1

Die Bettungseigenschaften von TerraFlow wurden in einem Großversuch vom IKT geprüft. Hierzu wurde in einem Versuchsstand ein Gussrohr DN 500 im Kanalgraben verlegt und später mit dem selbstverdichtenden Verfüllbaustoff verfüllt (Abb. 6). 28 Tage nach der Verfüllung wurde mit den Prüfungen begonnen.

Die Prüfungen beinhalteten eine statische und eine lastzyklische Belastung. Da eine für die Rohrverlegung übliche Grabentiefe nicht möglich war, wurde durch eine entsprechende Auflast eine Verlegetiefe von 3,20 m simuliert. Weiter wurde die Radlast eines SLW 60 und eine Vergrößerung der zukünftigen Verkehrslast oder eine unplanmäßige Erhöhung der Überdeckung durch eine weitere Last von 50 kN/m<sup>2</sup> berücksichtigt.

Beim lastzyklischen Versuchsteil wurde durch 1 Million Lastwechsel innerhalb von 4 Tagen eine entspre-

the uniaxial compressive strength after 168 days would not exceed  $0.60 \text{ N/mm}^2$ , that the properties of the two mixes would not be significantly different and a further significant increase in strength was not to be expected.

#### Uniaxial compressive strength, stiffness modulus and permeability

The uniaxial compressive strength is determined deformation-controlled on cubes with an edge length of 15 cm, based on DIN 18136 [5]. Fig. 3 shows, among other things the IKT results of both TerraFlow variants. The uniaxial compressive strength of both mixes at the age of 168 day lies below  $0.60 \text{ N/mm}^2$ , the results differ only insignificantly. The run of both strength curves clearly indicates no significant increase in the uniaxial compressive strength so that a deterioration of the solubility is not to be expected.

In determining the uniaxial compressive strength, DIN 18136 [5] requires that the deformation of the specimen be recorded. Fig. 4 shows the load line recorded during such a test. Here, a compressive strain of the specimen of 3.3 % (age of specimen 7 d) resulted at a uniaxial compressive strength of  $0.16 \text{ N/mm}^2$ . These parameters provide information on the material's deformation behavior.

Fig. 5 presents the deformation development of both TerraFlow variants tested and shows an identical run of the two curves after only a few days. This favors a uniform bedding of the pipeline.

An additional parameter for assessing the deformation behavior is derived from the compression test performed in accordance with DIN 18135 [6]. In this test, the deformation of the specimen is recorded from defined load stages. The evaluation of the results provides the stiffness modulus. The load stage customary for pipeline construction is  $100 \text{ kN/m}^2$ . The tests performed at this load stage resulted for the self-compacting TerraFlow (MF) in a stiffness modulus of  $20273 \text{ kN/m}^2$  and for the stiff TerraFlow (MH) a stiff modulus of  $19325 \text{ kN/m}^2$ . The results of the compression tests show that the two tested TerraFlow variants also exhibit a very similar deformation behavior.

For backfilling a trench, a flowable to self-compacting construction filling material is typically used. The permeability in accordance with DIN 18130 [7] was therefore only performed on the self-compacting TerraFlow (MF). The test resulted in a for clayey silt typical permeability value  $k$  of  $10^{-7} \text{ m/s}$ .

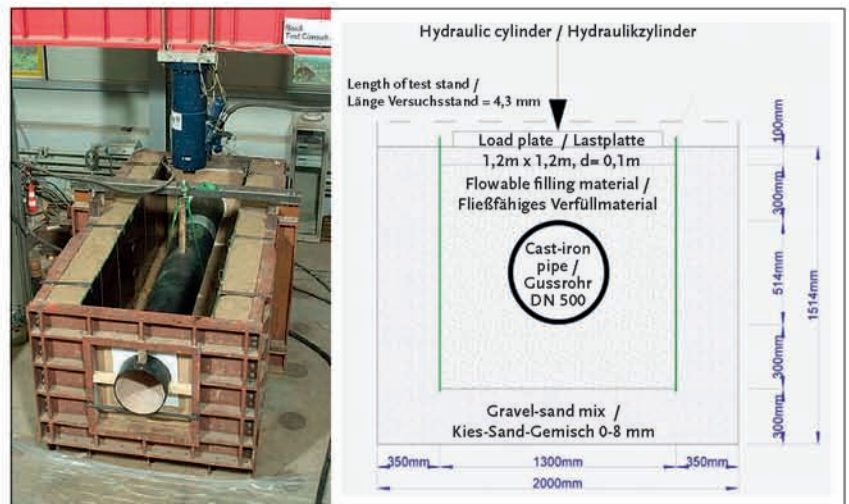
#### Bedding properties - performed to the scale of 1:1

The IKT examined the bedding properties of TerraFlow in a large-scale test. For this, a cast-iron pipe DN 500 was laid in a pipe trench and subsequently backfilled with the self-compacting construction filler (Fig. 6). The tests commenced 28 days after the backfilling was installed.

The tests consisted of static and cyclic loadings. Because the construction of a trench of typical depth for pipe-laying was not possible, an installation depth of 3.20 m was simulated by applying an appropriate surcharge. In addition, the wheel-load of a heavy-duty truck SLW 60 and an increase of the expected future live load or an unexpected increase in the surface surcharge was considered by imposing an additional load of  $50 \text{ kN/m}^2$ .

During cyclic loading, a corresponding number of passages of an SLW 60 truck was simulated by 1 million load cycles in 4 days. This test was to determine whether the pipe bedding would be negatively affected by these loadings.

The contact stresses were measured by pressure-sens-



chende Anzahl von Überfahrten eines SLW 60 simuliert. Hierbei sollte festgestellt werden, ob sich durch diese Belastungen die Rohrbettung verschlechtert.

Über Druckmessfolien auf der Außenseite des Rohres wurden die Kontaktspannungen, über Dehnungsmessstreifen auf der Innenseite die Rohrdehnungen und über Wegaufnehmer die Rohrverformung aufgenommen (Abb. 7).

Zur Bewertung der Ergebnisse des Versuchs im Maßstab 1:1 wurden statische Berechnungen nach ATV-DVWKA 127 [9] durchgeführt. Hierbei wurde zur Vereinfachung der Berechnung eine Kies-Sand-Verfüllung angesetzt (vgl. [1]). So wurden zulässige maximale Spannungen in der Rohrwand und zulässige maximale vertikale Rohrverformungen ermittelt. In Tabelle 1 sind diese Werte den entsprechenden Messergebnissen aus dem Versuch gegenübergestellt.

Der Vergleich zeigt, dass die statische Berechnung um ein vielfaches größere Werte lieferte als die Messwerte im Versuch. Demnach liegt eine Berechnung von TerraFlow nach ATV DVWKA 127 [9] unter Verwendung der Kennwerte eines Kies-Sand-Gemisches auf der sicheren Seite. Die Ergebnisse des Versuchs lassen zudem auf eine gleichmäßige Rohrbettung in Umfangsrichtung schließen. Wie bei jedem fließfähigen Verfüllmaterial ist auch für TerraFlow im Bauzustand die Sicherheit von biegeweichen Rohren gegen den Flüssigkeitsdruck von Außen nachzuweisen. Neben diesem Beulnachweis ist zudem ein Nachweis der Rohrspannungen infolge des Auftriebs zu führen (Längsbiegung, Punktbelastung).

#### Lastplattendruckversuch

Zur Beurteilung des Trag- und Verformungsverhalten eines Planums im Bereich des Straßen- und Erdbaues dient der sogenannte Verformungsmodul, der im Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 [8] ermittelt werden kann. Im Rahmen der Prüfungen beim IKT wurde dieser nach 7 und 28 Tagen ermittelt.

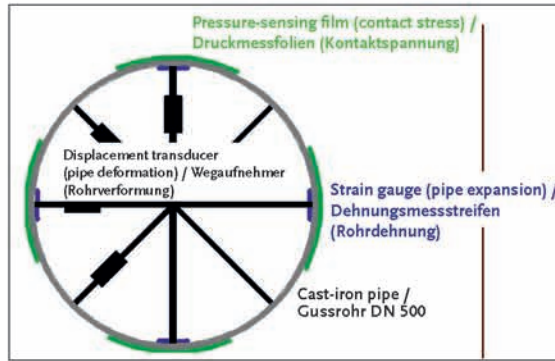
Die zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen und Regelwerke für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB [10]) bzw. für Aufgrabungen in Verkehrsflächen (ZTV A-StB [11]) fordern für das Planum einen Verformungsmodul  $E_{v2}$  von mindestens  $45 \text{ MN/m}^2$ . Wenn dieser Wert erreicht wird, kann mit den Folgearbeiten begonnen werden. Der selbstverdichtende TerraFlow (MF) erreichte nach 7 Tagen einen Verformungsmodul  $E_{v2}$  von  $201 \text{ MN/m}^2$ , welcher sich nach 28 Tagen deutlich auf  $693 \text{ MN/m}^2$  steigerte. Die durchgeführten Untersuchungen zeigten:

Fig. 6 Experimental setup at the IKT for the tests to the scale of 1:1.

Abb. 6 Versuchsstand beim IKT für Versuche im Maßstab 1:1.

Fig. 7 Measurement technology cast-iron pipe DN 500.

Abb. 7 Messtechnik Gussrohr DN 500.



ing film applied to the outer side of the pipes; the pipe deformations were measured by strain gauges placed inside the pipe and by displacement transducers (Fig. 7).

The results of the test performed to the scale of 1:1 were determined by structural calculations in accordance with ATV-DVWK A 127 [9]. To simplify the calculation, a gravel-sand backfill was assumed (see [1]). In this manner, permissible maximum stresses in the pipe wall and permissible maximum vertical pipe deformations were determined. These values are presented in Table 1 together with the measured results obtained in the test.

The comparison shows that the structural calculation yielded many-times higher values than the measured values of the test. Accordingly, the calculation of TerraFlow according to ATV DVWK A 127 [9], using the parameters of a sand-gravel mix, was on the safe side. The results of the tests, moreover, indicate a uniform pipe bedding in the direction of the circumference. For TerraFlow, as for every other flowable filling material, the resistance of flexible pipes to fluid pressure applied from outside during construction must be verified. Besides this buckling check, a check of the pipe stresses induced by the buoyancy has to be performed (longitudinal bending, point loading).

#### Plate load test

The loadbearing and deformation behavior of a subgrade in road- and earthworks is assessed by means of the deformation modulus that can be determined by plate load test in accordance with DIN 18134 [8]. Within the scope of the tests carried out at the IKT, this was determined after 7 and 28 days.

The additional technical contractual conditions and the codes of practice for earthworks in road construction (ZTV E-StB [10]) and/or for excavations in traffic areas (ZTV A-StB [11]) require for the subgrade a deformation modulus of  $E_{v2}$  of at least 45 MN/m<sup>2</sup>. When this value has been achieved, the subsequent works can commence. The self-compacting TerraFlow (MF) achieved after 7 days a deformation modulus of  $E_{v2}$  of 201 MN/m<sup>2</sup> which, after 28 days, noticeably increased to 693 MN/m<sup>2</sup>.

The investigations carried out showed:

- » The uniaxial compressive strength after 168 days ranged at around 0.5 N/mm<sup>2</sup>
- » Both TerraFlow variants (MF and MH) tested achieved comparable values in the compression test. This indicates a uniform pipe bedding in longitudinal direction.
- » The determination of the bedding behavior in the test stand of the IKT showed a uniform pipe bedding in circumferential direction
- » The measured deformations and the stresses in the pipe wall derived from these ranged far below the values obtained for a gravel-sand mix in accordance with ATV-DVWK A 127 [9].

- » Nach 168 Tagen liegt die einaxiale Druckfestigkeit bei etwa 0,5 N/mm<sup>2</sup>;
- » Beide geprüften TerraFlow Varianten (MF und MH) ergaben im Kompressionsversuch vergleichbare Werte, was auf eine gleichmäßige Rohrbettung in Längsrichtung schließen lässt;
- » Die Ermittlung des Bettungsverhaltens im Versuchstand des IKT zeigte eine gleichmäßige Rohrbettung in Umfangsrichtung;
- » Die gemessenen Verformungen und daraus ermittelten Spannungen in der Rohrwand lagen weit unter den berechneten Werten nach ATV-DVWK A 127 [9] für ein Kies-Sand-Gemisch.

#### TerraFlow – Erstprüfung und werkseigene Produktionskontrolle (WPK)

Die Zusammensetzung des TerraFlow hängt ab vom Einsatzgebiet und den Eigenschaften des zur Verfügung stehenden Grundmaterials. Die zur Herstellung des Verfüllbaustoffes nötige Rezeptur wird durch den Hersteller in einer Erstprüfung (Eignungsprüfung) ermittelt.

Ein besonderes Augenmerk wird hierbei der einaxialen Druckfestigkeit und deren Entwicklung über die Zeit gegeben. Hierfür werden in der Erstprüfung einaxiale Druckfestigkeiten im Alter von 2, 7, 28 und 56 Tagen bestimmt.

In der WPK wird sichergestellt, dass die produzierten Produkte den gewünschten Anforderungen entsprechen. Die Prüfungen erfolgen in regelmäßigen Abständen durch den Hersteller. Auch hier wird der einaxialen Druckfestigkeit und deren Entwicklung eine besondere Bedeutung geschenkt.

Abb. 3 zeigt die Ergebnisse von Erstprüfungen und der WPK im Vergleich zu den beim IKT geprüften Mischungen bis zum Alter von 182 Tagen.

Der Vergleich beider TerraFlow-Varianten zeigt bezüglich dieser Eigenschaft und dessen Entwicklung sehr ähnliche Ergebnisse. Weiter ist festzustellen, dass die Ergebnisse der WPK (Abb. 3) und der Erstprüfung sich nicht wesentlich unterscheiden.

Abb. 8 zeigt die Festigkeitsentwicklung aufgetragen im logarithmischen Maßstab (Zeitachse) und es macht deutlich, dass diese einer logarithmischen Funktion folgt. Beispielhaft sind für zwei TerraFlow FB - Varianten die Trendlinien (Funktionsgleichungen) angegeben. Die Bestimmtheitsmaße beider Funktionen ergeben sich mit mehr als 0,93, was für eine hohe Zuverlässigkeit spricht. Die sich ergebenden Trendlinien sind bis zu einem Alter von 25 Jahren aufgetragen und geben einen Anhaltswert für die Festigkeitsentwicklung. Hiernach ergäbe, dass beim IKT geprüfte TerraFlow FB (MF) nach 25 Jahren eine einaxiale Druckfestigkeit von ca. 0,80 N/mm<sup>2</sup> und der Terra Flow FB des Werkes 1 von ca. 0,40 N/mm<sup>2</sup>.

Im Rahmen einer Baustellenprüfung wurde der statische Verformungsmodul  $E_{v2}$  im Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 [8] ermittelt. Hierbei ergab sich im Alter von 2 Tagen ein Wert von 80 MN/m<sup>2</sup> und nach 7 Tagen von 116 MN/m<sup>2</sup>.

TerraFlow hat mittlerweile seine Eignung in verschiedenen Anwendungen unter Beweis stellen können.

#### Entwicklung in den maßgeblichen Regelwerken

Bisher wurde selbstverdichtendes Verfüllmaterial in den maßgeblichen Regelwerken nur am Rand bzw. gar nicht berücksichtigt. Im Bereich von Gräben, in denen Kanalrohre verlegt werden, gilt DIN EN 1610 [12] mit dem deut-



## TerraFlow – initial type testing and factory production control (FPC)

The mix composition of TerraFlow depends on the area of application and the properties of the available initial constituents. The mix design required for the manufacture of the construction filler is determined by the manufacturer in an initial type test (suitability test).

Special attention must here be paid to the uniaxial compressive strength and its development in the course of time. For this, a uniaxial compressive strength is determined at the age of 2, 7, 28 and 56 days in the initial test.

FPC then assures that the manufactured products meet the desired requirements. The tests are performed by the manufacturer at regular intervals. The uniaxial compressive strength and its development are here of special concern as well.

Fig. 3 shows the results of the initial type tests and FPC in comparison to the mixes tested at the IKT at the age of 182 days.

A comparison of both TerraFlow variants showed very similar results in respect of this property and its development. Moreover, the results of the FPC (Fig. 3) and the initial type test do not significantly differ.

Fig. 8 shows the strength development plotted to logarithmic scale (time axis) and makes clear that it follows a logarithmic function. This is illustrated on the example of the trend lines (function equations) of two TerraFlow FB variants. The coefficients of determination of both functions result in more than 0.93, indicating high reliability. The resulting trend lines were plotted up to an age of 25 years and provide a guide value for the development of strength. According to this, the TerraFlow FB (MF) tested at the IKT would have after 25 years a uniaxial compressive strength of approx. 0.80 N/mm<sup>2</sup> and the TerraFlow FB of plant 1 one of approx. 0.40 N/mm<sup>2</sup>.

Within the scope of the tests performed at the construction site, the static deformation modulus  $E_{v2}$  was determined in a plate load test in accordance with DIN 18134 [8]. Here, a value of 80 MN/m<sup>2</sup> resulted at the age of 2 days and, after 7 days, one of 116 MN/m<sup>2</sup>.

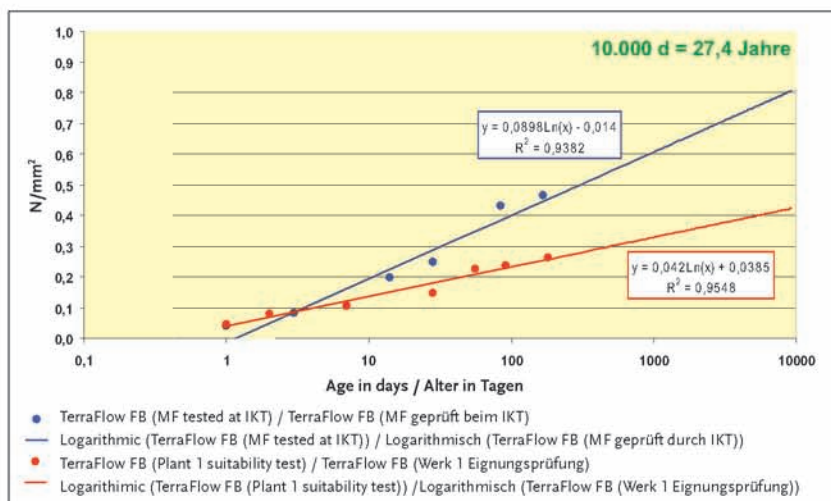
TerraFlow has in the meantime been able to demonstrate its fitness for various applications.

### Development in the relevant standards

Until now, the relevant standards mentioned self-compacting filling materials only in passing or not at all. The construction of trenches for laying sewer pipes is governed by DIN EN 1610 [12] in conjunction with the German application document DWA-A 139 [13]. For backfilling trenches in traffic areas, ZTV A-StB [11] and/or for road construction ZTV E-StB [10] must be observed.

DIN EN 1620 and DWA-A 139 also describe the requirements on self-compacting filling materials and their installation. According to ZTV A-StB [11] and ZTV E-StB [10], this new construction material may be used. However, details on it are not provided.

In 2008, a working group of the German Road and Transportation Research Association (FGSV) started to work out a code of practice for “temporarily flowable self-compacting construction fillers made of soil and construction materials.” [14] In this code, the application areas are described, the requirements on the initial constituents, construction materials, manufacture, delivery and installation are defined and the necessary tests and measures of quality assurance laid down. In future, the code can be



schen Anwendungsdokument DWA-A 139 [13]. Für die Grabenverfüllung im Bereich von Verkehrsflächen ist ZTV A-StB [11] bzw. im Bereich Straßenbau ZTV E-StB [10] zu beachten.

DIN EN 1620 und DWA-A 139 beschreiben auch Anforderungen an selbstverdichtende Verfüllmaterialien und deren Einbau. Nach ZTV A-StB [11] und ZTV E-StB [10] darf dieser neue Baustoffstoff verwendet werden. Details hierzu werden dort nicht beschrieben.

Eine Arbeitsgruppe der FGSV hat in 2008 mit der Erarbeitung des Merkblattes für „Zeitweise fließfähige, selbstverdichtende Verfüllbaustoffe aus Boden und Baustoffen“ [14] begonnen. Hierin werden die Anwendungsgebiete beschrieben, Anforderungen an Ausgangsstoffe, Baustoff, Herstellung, Lieferung und Einbau definiert und notwendige Prüfungen und Maßnahmen der Qualitätssicherung festgelegt. Das Merkblatt kann zukünftig als Bezugsdokument für die vorgenannten Regelwerke dienen und sollte damit zu einer Anpassung der Vorschriften führen. Dies wäre sinnvoll für eine einfache, unkomplizierte Anwendung dieses neuen Baustoffes und der damit zusammenhängenden neuen Verfülltechnologie.

Das FGSV Merkblatt [14] wird folgende Anwendungsgebiete behandeln:

- » Baugruben und Leitungsgräben für Abwasser, Trinkwasser, Gas, Elektrizität, Fernwärme, Telekommunikation und sonstige erdverlegte Kabel
- » Hinterfüllen und Überschütten von Bauwerken
- » Abdichtungen
- » Sonstiges

Der einaxialen Druckfestigkeit und der hierzu im Zusammenhang stehenden Wiederaushubfähigkeit gibt das Merkblatt eine besondere Bedeutung und teilt diese Eigenschaft in Klassen ein (Tabelle 2). Diese Anforderung wird im Merkblatt noch durch einen Kennwert zur Beurteilung der Festigkeitsentwicklung ergänzt.

### Zusammenfassung

Laut einer Umfrage im Jahr 2004 [1] sind ca. 100.000 km Kanalisation kurz- bis mittelfristig sanierungsbedürftig. Investitionen in Höhe von 50 bis 55 Mrd. € sind hierfür notwendig. Das volkswirtschaftliche Ziel muss eine langlebige Sanierung sein. Ein Forschungsvorhaben [2] stellt fest, dass fließfähige Verfüllbaustoffe für den Bereich der offenen Bauweise in einfacher Form zu einer guten Rohrbettung und damit zu geringen Rohrbelastungen führen können. Untersuchungen beim IKT in Gelsenkirchen

Fig. 8 Strength development TerraFlow FB (examples)  
Abb. 8 Festigkeitsentwicklung TerraFlow FB (Beispiele)

	uniaxial compressive strength after 28 days		
	up to 0,3 N/m <sup>2</sup>	0,3 to 0,8 N/m <sup>2</sup>	above 0,8 N/m <sup>2</sup>
re-excavation ability	easy manually	medium with aid of light equipment	hard with use of equipment only
re-excavation tools	with aid of light equipment	i. e. pickaxe, skid loader	Skid loader, pneumatic hammer or chisel

Table 2 Guide values for the re-excavation ability of temporarily flowable self-compacting construction fillers [14].

	einaxiale Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen		
	bis 0,3 N/m <sup>2</sup>	0,3 bis 0,8 N/m <sup>2</sup>	über 0,8 N/m <sup>2</sup>
Wiederaushubfähigkeit	leicht von Hand	mittel mit Hilfe leichter Geräte	schwer nur mit Geräteeinsatz
Lösewerkzeuge	mit Hilfe leichter Geräte	z.B. Spitzhacke, Löffel des Minibaggers	Baggerlöffel, Pressluft- oder Hydraulikmeißel

Tabelle 2 Anhaltswerte für die Wiederaushubfähigkeit von zeitweise fließfähigen selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen [14].

used as a reference document for the above-mentioned standards and should therefore lead to an adjustment of the requirements. This would facilitate a simple, uncomplicated application of this new construction material and the related new backfilling technology.

The FGSV code of practice [14] will treat the following areas of application:

- » Excavations and pipeline trenches for sewage, drinking water, gas, electricity, district heat, telecommunications lines and other buried cables
- » Backfilling and topping structures
- » Sealings
- » Miscellaneous

The code gives special significance to the uniaxial compressive strength and the ability of the material to be re-excavated and divides this property into classes (Table 2). This requirement is further supplemented by a parameter for evaluating the development of strength.

### Summary

Based on a survey conducted in 2004 [1], approx. 100.000 km of sewers are in need of immediate or long-term repair. Investments amounting to €50 to 55 billion are required for this. The national economic aim must be a long-lasting repair. A research project [2] finds that flowable construction fillers used in open-cut trench construction could lead in a simple way to good pipe bedding and consequently low loading of the pipes. Investigations carried out at the IKT in Gelsenkirchen show [4] that these requirements can also be met with TerraFlow.

In the standards relevant for the application, this construction material is increasingly considered. A working group of the FGSV is currently working out the code of practice on “temporarily flowable self-compacting construction fillers of soil and construction materials.” To these, other standards will in future make reference, creating in this way the prerequisites for a simple and uncomplicated application of this new technology.

Raymund Böing; Martin Liebscher

zeigen [4], dass auch mit TerraFlow diese Anforderungen erfüllt werden können.

In den für den Einsatzbereich maßgeblichen Regelwerken findet dieser Baustoff immer mehr Berücksichtigung. Eine Arbeitsgruppe des FGSV erarbeitet das Merkblatt „Zeitweise fließfähige, selbstverdichtende Verfüllbaustoffe aus Boden und Baustoffen“. Hierauf können zukünftig andere Regelwerke Bezug nehmen und damit die Voraussetzungen für eine einfache unkomplizierte Anwendung dieser neuen Technologie schaffen.

Raymund Böing; Martin Liebscher

### References / Literatur

- [1] Christian Berger, Johannes Lohaus Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der DWA Umfrage 2004.
- [2] Triantafyllidis, Th.; Bosseler, B.; Arsic, I.; Liebscher, M.: Einsatz von Bettungs- und Verfüllmaterialien im Rohrleitungsbau. Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik, 2006. Gefördert durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW. Download auf [www.ikt.de](http://www.ikt.de) unter IKT Forschung/Forschungsberichte April 2006.
- [3] Prüfbericht Hygiene Institut Gelsenkirchen, Heidelberger Beton GmbH Heidelberg
- [4] Prüfbericht des IKT vom 26. Mai 2009, Prüfung fließfähiges Verfüllmaterial, Heidelberger Beton GmbH Heidelberg.
- [5] DIN 18136 2003-11, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Einaxialer Druckversuch, Beuth Verlag Berlin.
- [6] DIN 18135 1999-06, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Eindimensionaler Kompressionsversuch, Beuth Verlag Berlin.
- [7] DIN 18130-1 1998-05, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche, Beuth Verlag Berlin.
- [8] DIN 18134 2001-09, Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte – Plattendruckversuch, Beuth Verlag Berlin.
- [9] ATV-DVWK-A 127: Richtlinie für die statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen. St. Augustin 2000.
- [10] ZTV E-StB 09 - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2009, FGSV Verlag.
- [11] ZTV A-StB 97 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen, Fassung 2006, FGSV Verlag.
- [12] DIN EN 1610, 1997-10, Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen.
- [13] DWA-A 139, 2009-12 Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen, [www.dwa.de](http://www.dwa.de)
- [14] FGSV Merkblatt für „Zeitweise fließfähige, selbstverdichtende Verfüllbaustoffe aus Boden und Baustoffen“ – Entwurf Stand 4. März 2010.



WWW.HEIDELBERGER-BETON.DE



**HEIDELBERGER  
BETON**  
HEIDELBERGCEMENT Group

**Heidelberg Beton GmbH**

Berliner Straße 10  
69120 Heidelberg

[www.heidelberg-beton.de/terraflow](http://www.heidelberg-beton.de/terraflow)



Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass das Erreichen der vorgenannt beschriebenen Eigenschaften eine sachgerechte, nach dem Stand der Technik durchzuführende Vorbereitung auf der Baustelle und Verarbeitung des Betons voraussetzt.

Weitere Informationen und Hinweise zu unseren Produkten und Dienstleistungen können Sie auf Wunsch gerne bei uns anfordern – oder rufen Sie uns einfach an.