

Sonderdruck aus

# bi UmweltBau

Ausgabe 4/2012



## ■ Einsatz selbstverdichtender Verfüllmaterialien Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Dipl.-Ing. Raymund Böing

Dipl.-Ing. Patrick Decker

Prof.Dr.-Ing. Karsten Körkemeyer

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Christian Ochs

Dipl.-Ing. Norman Schneider



**HEIDELBERGER  
BETON**  
HEIDELBERGCEMENT Group

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

# Einsatz selbstverdichtender Verfüllmaterialien

Eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung des Einsatzes von zeitweise flüssigen selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen im kommunalen Leitungstiefbau im Vergleich mit der konventionellen Methode anhand konkreter Kanalbaumaßnahmen.

**VON KARSTEN KÖRKEMEYER,  
NORMAN SCHNEIDER,  
CHRISTIAN OCHS,  
RAYMUND BÖING UND  
PATRICK DECKER\***

Selbstverdichtende Verfüllmaterialien oder auch Flüssigböden sind fließfähige Baustoffe zum Verfüllen von Gräben, Baugruben oder ähnlichen Hohlräumen in allen Bereichen des Erd-, Tief- und Straßenbaus [a,b,c]. Gemäß

FGSV Hinweis [4] werden sie präzise auch als „zeitweise flüssige selbstverdichtende Verfüllbaustoffe“ (ZFSV) bezeichnet. Sie bestehen hauptsächlich aus mineralischer Gesteinskörnung, Wasser, Zement und herstellereigenen Zusätzen. Das Material entwickelt bodenähnliche Eigenschaften (Rohdichte 1,6 bis 2,1 kg/dm<sup>3</sup>; einaxiale Druckfestigkeit 0,2 bis 0,8 N/mm<sup>2</sup>) und kann den Bodenklassen 3-4 (nach DIN 18300 [5]) zugeordnet werden.

Mit der Neufassung von DWA-A 139 [6] wurde erstmalig der Einsatz von ZFSV bei kommunalen



Abbildung 1: Auflagerbank mit aufliegendem Rohr

len Leitungstiefbaumaßnahmen als Alternative zur konventionellen Verfahrenstechnik in einer allgemein anerkannten Regel der Technik festgelegt. Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass Baumaßnahmen unter Einsatz von ZFSV zukünftig häufiger ausgeschrieben und sich Planer und ausführende Unternehmen mit der Beurteilung der Kosten konfrontiert sehen werden. Vor diesem Hintergrund ist die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung des Einsatzes von ZFSV im kommunalen Leitungstiefbau und speziell der Vergleich mit der konventionellen Methode anhand konkreter Kanalbaumaßnahmen Gegenstand dieses Beitrages<sup>1</sup> [7]. Des Weiteren werden Entscheidungskriterien aufgezeigt, mit deren Hilfe ein wirtschaftlicher Einsatz von ZFSV im konkreten Anwendungsfall bewertet werden kann.

### Baublauf

Beim Einsatz von ZFSV zur Rohrgrabenverfüllung ändert sich der grundlegende Bauablauf einer Leitungstiefbaumaßnahme zunächst nicht. Allerdings erfordert der nun flüssige Aggregatzustand des Verfüllmaterials einige Anpassungen.

Genau wie beim konventionellen Rohrleitungsbau erfolgen nach dem Aufbau der Baustelleneinrichtung das Aufbrechen der Oberfläche und der Aushub mit einhergehender Sicherung des Grabens. Ebenso wird die Vorflut sichergestellt, bei Erneuerungsmaßnahmen die Altrohre ausgehoben und die Grabensohle hergestellt. Das Setzen von Fertigteilschächten bzw. das Herstellen von Schachtbauwerken in Ortbetonbauweise entspricht ebenfalls dem Vorgehen bei der konventionellen Bauweise.

Ein erster Unterschied offenbart sich bei der Herstellung der Rohrbettung. Zur temporären Gefälleausrichtung und Rohrbettung müssen Auflagerbänke, die das spätere vollständige Umhüllen der Leitung mit ZFSV ermöglichen, hergestellt werden (siehe Abbildung 1).

Das Verfüllen der Leitungszone oder des kompletten Grabens wird mit ZFSV mit einer Wichte von ca. 18 kN/m<sup>3</sup> und mehr durchgeführt. Dadurch werden Auftriebskräfte in Abhängigkeit des durch den Rohrstrang verdrängten Volumens und des Eigengewichts der Rohre hervorgerufen. Dementsprechend müssen die Rohre

<sup>1</sup> Der vorliegende Beitrag basiert auf der Diplomarbeit von Herrn Schneider am FG Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Kaiserslautern, die mit Unterstützung der Stadtentwässerung Kaiserslautern und der Heidelberger Beton GmbH erarbeitet wurde. Die Arbeit wurde mit dem Hochschulpreis der Bauwirtschaft Rheinland-Pfalz 2011 ausgezeichnet.



Abbildung 2: Beispiel einer Abschalung (Sandsackbarriere)

gegen Aufschwimmen gesichert werden. Sobald der Rohrstrang verlegt und in seiner Lage fixiert worden ist, kann der Graben mit ZFSV ggf. in mehreren Abschnitten (Längsrichtung, Einfüllhöhe) verfüllt werden. Die Länge dieser Abschnitte wird dabei durch die Anzahl der verfügbaren Verbauelemente, die Baggerreichweite zum Ziehen der Verbauelemente während des Verfüllvorgangs und die Randbedingungen der Baustelle, wie Auflagen an Bauzeiten, Baufortschritt, Behinderungen der Verkehrsströme oder Wiederherstellen von Parkmöglichkeiten, begrenzt.

Jeder Verfüllabschnitt muss an seiner Stirnseite durch eine Schalung verschlossen werden, um ein Eindringen des Flüssigbodens in den Kanal zu verhindern. Je nach Ausführungsvariante – ZFSV zur Verfüllung der Leitungszone oder zur kompletten Grabenverfüllung – variieren die Anforderungen an die Abschalung. Bei Verfüllen der Leitungszone ist beispielsweise eine Sandsackbarriere (siehe Abbildung 2), eine Haltebank entsprechender Höhe oder eine in den Graben eingepasste Abschalung (siehe Abbildung 3) ausreichend, während im Fall der vollständigen Grabenverfüllung in Abhängigkeit der Grabentiefe entsprechend hohe Horizontaldrucke aufgenommen werden müssen. Gegenüberstellung der konventionellen Verfüllung mit dem Einsatz von ZFSV.

Wie bereits erläutert, gibt es neben dem grund-

legend gleichen Bauablauf des konventionellen Verfüllens und dem Einsatz von ZFSV dennoch erhebliche Unterschiede zwischen den beiden Verfüllvarianten. Diese ergeben sich aus der Effizienz der Baumaßnahme und den jeweils unterschiedlichen Fehlerpotenzialen beim Einbau der Rohre und dem Verdichten des Materials. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die notwendigen Vorgänge beider Varianten und den damit verbundenen Aufwand.

Mit Wegfall der beim Einsatz von ZFSV nicht erforderlichen Verdichtungsmaßnahmen in der Leitungszone (und insbesondere im Zwickelbereich) kann die Grabenbreite um ein deutliches Maß (bei den betrachteten Baumaßnahmen um ca. 14 %, abhängig von den Baustellenrandbedingungen) verringert werden. Dies bedingt Bauzeit- und Kostenvorteile, da Straßendeckenaufbruch und Aushubvolumen entsprechend reduziert sind. Da mechanische Verdichtungsmaßnahmen entfallen und damit der Eintrag von Vibrationen in den Untergrund reduziert wird, können mit Einsatz von ZFSV zur Rohrgrabenverfüllung gerade in städtischen Gebieten typische Schadensbilder, wie z.B. Risse oder Setzungen der angrenzenden Bebauung, als direkte Folge der Erdarbeiten vermindert werden.

Trotz geringerer Grabenbreite im Vergleich zur konventionellen Methode wird nach den Erfahrungen mit Einsatz von ZFSV eine opti-



Abbildung 3: Beispiel einer Abschalung (Holztafel)

Tabelle 1: Tätigkeiten und Aufwandsvergleich bei konventioneller Verlegung und Einsatz von ZFSV (Grundlage: tatsächlich gemessene Zeitaufwandswerte) [7]

Vorgang	notwendig bei konv. Verfüllung	notwendig bei Verfüllen mit ZFSV	Aufwand bei konv. Verfüllung [%]	Aufwand bei Verfüllung mit ZFSV [%]
Asphalt schneiden	x	x	100	100
Asphalt lösen/laden	x	x	100	87
Graben ausheben	x	x	100	87
händ. Freilegen von Leitungen	x	x	100	87
Verbau stellen/einheben	x	x	100	100
Verbau ziehen/ausheben	x	x	100	100
Spundverbau stellen	x	x	100	100
Spundverbau ziehen	x	x	100	100
Pumpe installieren	x	x	100	100
Altrohre ausheben	x	x	100	100
Grabensohle herstellen (Fels)	x	x	100	85
Grabensohle herstellen	x	x	100	85
Rohrbettung herstellen	x	x	100	14
Rohr einheben	x	x	100	100
Rohr ausrichten	x	x	100	100
Vorflut herstellen	x	x	100	100
Seitenzuläufe anschließen	x	x	100	100
Verfüllen Leitungszone konv.	x	-	100	0
Verdichten Leitungszone	x	-	100	0
Verfüllen Gas/Wasserleitung per Hand	x	-	100	0
Warnband legen	x	-	100	0
Abschalung stellen	-	x	0	100
Auftriebssicherung/Widerlager herstellen	-	x	0	100
Grabenverfüllung mit ZFSV	-	x	0	100
Grabenverfüllung konv.	x	x	100	19
Verdichten im Graben (stampfen)	x	-	100	0
Verdichten im Graben (rütteln)	x	x	100	35
Asphaltdecke herstellen	x	x	100	87
Schachtbauwerk herstellen	x	x	100	100

male Rohrbettung erreicht. Der Rohrstrang wird von dem ZFSV homogen umschlossen, wodurch Punktbelastungen – und somit eine Hauptursache späterer Schäden und Folgeschäden – gänzlich ausgeschlossen werden können. Auch wird durch die homogene Leitungsbettung der Wurzeinwuchs verhindert. Dies hat eine geringere Schadensanfälligkeit des Rohrstranges zur Folge und begünstigt somit eine höhere Nutzungsdauer des gesamten Kanals. Gerade in städtischen Gebieten stellen querende Leitungen (Strom, Wasser, Telekommunikation,...) und Seitenzuläufe nicht nur beim Grabenaushub, sondern auch bei der Hauptverfüllung eine Erschwerung dar. Mit Einsatz von ZFSV werden diese Bereiche optimal und setzungsfrei in den Untergrund eingebettet.

Eine Nacherhärtung des ZFSV ist zu begrenzen. Dies geschieht durch die Auswahl geeigneter Ausgangsstoffe, eine präzise Mischungssteuerung sowie deren Überwachung. Bei baustellenseitiger Produktion des ZFSV, unter Nutzung des häufig inhomogenen Aushubmaterials, ist hierfür dessen sorgfältige Analyse und Abstimmung mit den Zusatzstoffen erforderlich [siehe auch 8, 9].

### Kalkulationsansätze, Zeitaufwandswerte

Da es sich beim Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien um ein relativ neuartiges Verfahren zur Rohrgrabenverfüllung handelt, gibt es noch keine tabulierten Aufwandswerte für die einzelnen Tätigkeiten. Aufwandswerte bilden die Grundlage für die Berechnung der Lohn- und Gerätekostenanteile an den Einzelkosten der Teilleistungen als Vorstufe zur Ermittlung der Einheitspreise der entsprechenden Positionen. Aufwandswerte sind darüber hinaus auch zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Ausführungsvarianten und Bauverfahren ein wichtiges Kriterium.

Mit jeder neuen Baumaßnahme variieren solche Werte, wobei Faktoren wie Jahreszeit, Wetterlage und die Erfahrung der Baukolonnen großen Einfluss auf die Zeitwerte haben. Um realistische Aussagen über die Aufwandswerte treffen zu können und später einen direkten Vergleich mit der konventionellen Methode zu ermöglichen, wurden konkrete Baumaßnahmen sowohl mit Einsatz von ZFSV zur Rohrgrabenverfüllung als auch in konventioneller Herstellung von Leitungszone und Hauptverfüllung dokumentiert.

Dazu wurden die entsprechenden Ausführungsdauern unter Berücksichtigung des Per-

sonaleinsatzes vor Ort gemessen und unter Berücksichtigung von Warte- bzw. Erholzeiten zu Aufwandswerten aufbereitet. (siehe Tabelle 2)

Alle betrachteten Baumaßnahmen wurden von derselben Baukolonne bearbeitet, um eventuelle Fehlerquellen (z.B. Erfahrungsunterschiede einzelner Kolonnen) auszuschließen und verwertbare Referenzwerte zu erhalten.

Die so generierten Aufwandswerte stellen die Grundlage der späteren Kalkulationen und Vergleichsrechnungen dar (Hinweis: die hier ermittelten Aufwandswerte sind als erste Ergebnisse für die Arbeiten mit ZFSV im kommunalen Leitungstiefbau aufzufassen und werden durch weiterführende Untersuchungen ergänzt und verfeinert).

Vorgang	Aufwandswert h/[-]
Asphalt schneiden [m]	0,22
Asphalt lösen/ laden [m³]	0,97
Graben ausheben [m³]	0,50
händ. Freilegen von Leitungen [m³]	1,73
Verbau stellen/einheben [Stk.]	0,41
Verbau ziehen/ausheben [Stk.]	0,29
Spundverbau stellen [m]	2,12
Spundverbau ziehen [m]	2,11
Pumpe installieren [1 Stk.]	0,75
Altrohre ausheben [m]	0,41
Grabensohle herstellen (Fels) [m³]	1,06
Grabensohle herstellen [m³]	0,70
Rohrbettung herstellen [m³]	0,54
Rohr einheben [Stk.]	0,43
Rohr ausrichten [Stk.]	0,24
Vorflut herstellen [Stk.]	0,60
Seitenzuläufe anschließen [Stk.]	1,40
Verfüllen Leitungszone [m³]	0,30
Verdichten Leitungszone [m]	0,23
Verfüllen Gas/Wasserleitung per Hand [m³]	0,97
Warnband legen [m]	0,01
Schalung bauen [Stk.]	1,91
Auftriebssicherung/ Widerlager herstellen [m³]	0,28
Grabenverfüllung mit ZFSV [m³]	0,20
Grabenverfüllung konv. [m³]	0,27
Verdichten im Graben (stampfen) [m²]	0,22
Verdichten im Graben (rütteln) [m²]	0,17
Asphaltdecke herstellen [m³]	0,75
Schachtbauwerk herstellen [Stk.]	3,00

**Tabelle 2: Aufwandswerte für Arbeitsvorgänge beim Bau von Entwässerungsleitungen (Vorgänge bei konventioneller Grabenverfüllung bzw. bei Einsatz mit ZFSV) [7]**

## Analyse der Baumaßnahmen

Bei den hier analysierten Baumaßnahmen handelte es sich um Kanalerneuerungen in der Kaiserslauterer Innenstadt, bei denen mehrere Haltungen aus Betonrohren mit Ei-Querschnitt durch Steinzeugrohre der Nennweite DN 400 bzw. DN 500 ersetzt wurden. In Tabelle 3 sind die grundlegenden Daten der Baumaßnahmen dargestellt.

**Tabelle 3: Merkmale der beiden untersuchten Baumaßnahmen nach [7]**

	Baumaßnahme 1	Baumaßnahme 2
Haltungslänge [m]	84	60
Grabentiefe [m]	3,4	3,4
Grabenbreite konv. [m]	1,5-1,7	1,5-1,7
Grabenbreite mit ZFSV [m]	1,3-1,5	1,3-1,5
Rohrinnenweite	DN 400	DN 500
Besonderheiten	keine	Wasserversorgungsleitung im Abstand von 30cm parallel zum Rohrgraben

Ein Merkmal der betrachteten Baumaßnahmen stellt die Wiederverwendung des Ausbaus zur Herstellung der Leitungszone und der Hauptverfüllung dar, während in vielen Fällen der Grabenaushub zum Wiedereinbau ungeeignet ist und durch verdichtungsfähiges Austauschmaterial ersetzt werden muss. Daher wurde bei der vergleichenden Gegenüberstellung zusätzlich ein Szenario betrachtet, bei dem von einem für den Wiedereinbau ungeeigneten Boden ausgegangen wird und die Grabenverfüllung mit Austauschmaterial erfolgt. Die Baumaßnahmen wurden jeweils mit drei unterschiedlichen Ausführungsvarianten kalkuliert und verglichen:

- Variante 1: konventioneller Rohrleitungsbau
- Variante 2: Einsatz von ZFSV zum Verfüllen der Leitungszone, aber konventionelle Herstellung der Hauptverfüllung
- Variante 3: komplette Grabenverfüllung (Leitungszone und Hauptverfüllung) mit ZFSV.

### Zu Variante 2:

Der Zeitpunkt der Hauptverfüllung ist von der Festigkeitsentwicklung des ZFSV abhängig. Hierauf nehmen Witterungs- und Baustellenbedingungen Einfluss. Um eine Verbauspur

zu vermeiden, müssen die Verbauelemente im noch flüssigen Zustand des ZFSV bis zu seiner Oberkante gezogen werden. Im Allgemeinen kann die Hauptverfüllung dann nach etwa 24 h ausgeführt werden.

Bis zur fertigen Hauptverfüllung können daher die Verbauelemente nicht vollständig ausgebaut und für den weiteren Grabenbau verwendet werden. Bei der Wahl der Größe des Verfüllabschnittes muss deshalb darauf geachtet werden, dass eine noch genügende Anzahl an Verbauelementen zur Verfügung steht, um den Grabenbau während der Abbindezeit voranzutreiben, oder andere Tätigkeiten ausgeführt werden können.

Da beim Verfüllen der Leitungszone mit ZFSV die Hauptverfüllung konventionell ausgeführt wird, müssen querende Leitungen von Hand angefüllt und verdichtet werden. Wie zuvor bereits erwähnt, ist unter diesen Leitungen und Leitungsbündeln der geforderte Verdichtungsgrad kaum erreichbar, so dass z.B. mit späteren Setzungen der Fahrbahn und der Leitungen und dadurch bedingten Folgeschäden gerechnet werden muss.

### Zu Variante 3:

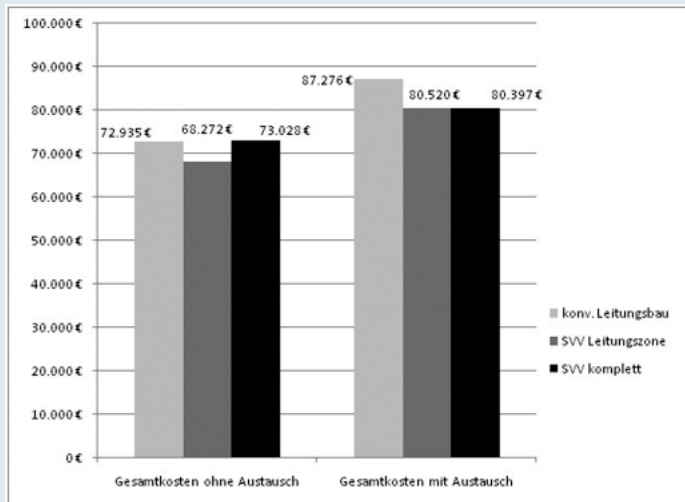
Beim kompletten Verfüllen des Rohrgrabens (Leitungszone sowie Hauptverfüllung) mit ZFSV müssen diese Überlegungen nicht berücksichtigt werden. Hier werden die Verbauelemente direkt beim Verfüllen des Rohrgrabens gezogen, und stehen somit unmittelbar zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

## Ergebnisse der Analyse

Beim Vergleich der drei Ausführungsvarianten (d.h. konventioneller Rohrleitungsbau, Leitungszoneverfüllung mit ZFSV sowie vollständige Grabenverfüllung mit ZFSV) hat sich gezeigt, dass alleine durch den Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien zur Verfüllung der Leitungszone die Gesamtbauzeit bei beiden Baumaßnahmen um ~10% und gleichzeitig die Baukosten um ca. 6% reduziert werden konnten.

Das Ergebnis fällt noch positiver zugunsten der ZFSV-Varianten aus, wenn die Grabenbreite gegenüber der Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 [6] weiter reduziert wird. Im vorliegenden Fall konnten die Leitungsgräben für die ZFSV-Varianten im Vergleich zur konventionellen Bauweise nur um 20 cm schmaler ausgeführt werden, da zum Anschluss zahlreicher Seitenzuläufe ein ausreichender Arbeitsraum zwischen Rohr und Grabenwandung über die ge-

Abbildung 4: Gegenüberstellung Kosten mit/ ohne Bodenaustausch [7]



samte Haltungslänge vorgehalten werden musste. Durch die reduzierte Bauzeit konnten die Arbeitslohnkosten erheblich gesenkt werden (bei Leitungszonenverfüllung mit ZFSV um ca. 11 %, bei Kompletterfüllung mit ZFSV um ca. 31 %). Ermöglicht wurde dieser schnellere Baufortschritt durch den Wegfall der Verdichtungsarbeit bei der Grabenverfüllung mit ZFSV und der damit möglichen Verringerung der Grabenbreite.

Analog zu den Lohnkosten konnten auch die Baustellengemeinkosten sowie die Gerätekosten deutlich verringert werden. Aufgrund der verringerten Grabenbreite konnten Einsparungen bei der Asphaltentsorgung und der Oberflächenwiederherstellung erreicht werden. Die zeitliche Ersparnis beim kompletten Verfüllen des Grabens mit ZFSV im Vergleich zum konventionellen Leitungsbau ist mit ca. 31 % deutlich größer als bei reiner Leitungszonenverfüllung mit ZFSV (ca. 11 %), und das bei annähernd gleichen Gesamtkosten. Eine Gegenüberstellung der gemessenen Arbeitszeiten und der ermittelten Kosten getrennt nach Kostenarten zeigt Tabelle 4.

Betrachtet man den Einsatz selbstverdichtender Verfüllmaterialien bei nicht wiederverwendbarem Grabenaushub, so erkennt man deutlich, dass zu der erheblichen Zeitersparnis eine Kostenreduzierung gegenüber der konventionellen Bauweise in Höhe von ~9 % zu erwarten ist. Die Ursache hierfür liegt in erheblichen Kostenanteilen (Material, Deponie, Transport) für die konventionelle Verfüllung infolge der notwendigen Entsorgung des Aushubs und Einbau von Austauschmaterial. Die diesbezüglichen Untersuchungsergebnisse zeigt Abbildung 4.

Der Einsatz selbstverdichtender Verfüllmaterialien erweist sich somit als die in jeder Hinsicht wirtschaftlichere Bauweise. Hierbei bleibt

der ökonomische Vorteil, der sich aus vermiedenen bzw. reduzierten Mängeln und den daraus abzuleitenden vermeidbaren Mängelbeseitigungsansprüchen bzw. Kosten für den Bauherrn nach Ablauf des Gewährleistungszeitraumes ergibt, unberücksichtigt.

### Entscheidungskriterien

Im Rahmen der Analyse der Baumaßnahmen hat sich gezeigt, dass aufgrund der Realisierbarkeit von mindestens zwei Verfüllabschnitten je Baumaßnahme ein Einsatz von ZFSV zur

Rohrgrabenverfüllung wirtschaftlicher ist als die konventionelle Grabenverfüllung.

Die Mindestanzahl von zwei Abschnitten wird aus Gründen eines optimierten Bauablaufes notwendig, um die Zeit bis zum Erreichen der notwendigen Festigkeit der ersten bereits verfüllten Leitungszone für die Herstellung des folgenden Abschnittes zu nutzen und somit Wartezeiten für das Personal vermeiden zu können. Bei sorgfältiger Planung des Bauablaufes kann es aber auch möglich sein, die Leitungszone kurz vor Ende des Arbeitstages zu verfüllen, und so die Zeit der Festigkeitsentwicklung in die Abend- und Nachtstunden zu verschieben, sodass am nächsten Arbeitstag die notwendige Belastbarkeit gegeben ist und direkt konventionell die Hauptverfüllung eingebracht werden kann.

Im Fall einer vollständigen Grabenverfüllung mit ZFSV entfallen diese Restriktionen, da die Verbaugeräte für weitere Bauabschnitte unmittelbar zur Verfügung stehen und die Festigkeitsentwicklung des ZFSV keinen Einfluss auf den Zeitpunkt der Hauptverfüllung hat. In diesem Fall sind mehr als zwei Bauabschnitte pro Tag möglich (siehe Abbildung 5).

Die Mindestlänge dieser Abschnitte kann allerdings nicht allgemeingültig angegeben werden, sie variiert mit den Randbedingungen jeder neuen Baumaßnahme. Andere Zwangspunkte

Tabelle 4: Kalkulationsergebnisse

	Konventioneller Leitungsbau	ZFSV Leitungszone	ZFSV komplett
Arbeitsstd. [h/m]	13,85	12,35	9,51
Bauleiterlohn [€/m]	18,86	14,21	10,95
Gerätekosten [€/m]	99,75	87,61	71,37
Stoffkosten [€/m]	251,80	268,81	411,39
Lohnkosten [€/m]	449,96	401,40	309,60
Gesamtkosten [€/m]	868,27	812,76	869,38

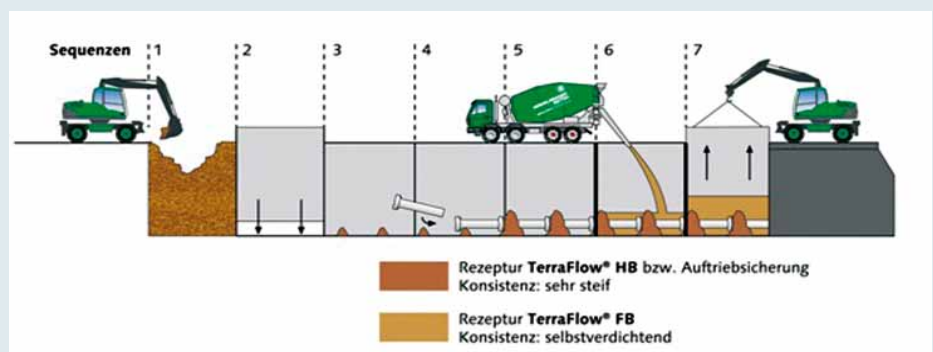


Abbildung 5: Arbeitsablauf beim Einbau von ZFSV am Beispiel TerraFlow (vollständige Grabenverfüllung) [Heidelberger Beton GmbH, Heidelberg]

wie z.B. Lagerkapazitäten vor Ort, die individuelle Mindestgrabenbreite oder die Eignung des Aushubs zur späteren Verfüllung (siehe Abbildung 6) können zusätzliche Auswirkungen auf die tatsächlich eingesparten Kosten haben.

## Fazit

Um die Leistungsfähigkeit einer Kanalisation über ihre gesamte Lebensdauer zu gewährleisten, müssen Schäden an der Rohrleitung durch eine optimale Rohrbettung vermieden werden. Mit dem Einsatz von ZFSV zur Rohrgrabenverfüllung kann eine gleichmäßige und nach Ziehen der Verbauelemente ungestörte Rohrbettung gewährleistet werden [10]. Die Gefahr von Anfangsschäden der Rohrleitung durch Einbaufehler, vor allem aufgrund mangelnder Sorgfalt bei der Verdichtung der Zwickelbereiche, kann mit Einsatz von ZFSV ausgeschlossen werden. Durch den direkten Vergleich konkreter Baumaßnahmen konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von ZFSV zur kompletten Verfüllung des Rohrgrabens bei annähernd gleichen Gesamtkosten die Bauzeit um ca. 31 % verringern kann. Mit der Wahl von ZFSV zur Verfüllung der Leitungszone ist eine Verringerung der Gesamtkosten um ca. 6% möglich, allerdings bei gleichzeitiger Bauzeitreduktion von „nur“ 11% gegenüber konventionellem Leitungsbau.

## Ausblick

Gegenstand zukünftiger Aktivitäten am FG Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Kaiserslautern bestehen in der Betreuung weiterer Baumaßnahmen unter Einsatz von ZFSV. Ziele sind weitere statistisch abgesicherte Erkenntnisse über mögliche Bauzeitreduktion und den damit verbundenen Kostenverlauf. Darauf aufbauend sollen entsprechende Kalkulationsansätze abgeleitet und entwickelt werden. Von besonderem Interesse sind statistische Daten über die anzunehmende verbesserte Lebensdauer bzw. reduzierte Schadensanfälligkeit von Kanälen und Rohrleitungen, die unter Einsatz von ZFSV eingebaut wurden.

- [1] Körkemeyer, K.: Selbstverdichtende Verfüllmaterialien für Leitungsgräben – Möglichkeiten, Anforderungen, Probleme und Qualitätsüberwachung. Tagungsunterlagen 7. DWA-Kanalbautage, 4./5. Mai 2010 in Celle
- [2] Böing, R., Liebscher, M.: Neues selbstverdichtendes Verfüllmaterial für Leitungsgräben – von der Eignungsprüfung bis zur Qualitätssicherung. Betonwerk + Fertigteiltechnik 11/2010, S. 4-15
- [3] Feickert, R.: Selbstverdichtendes Verfüllmaterial. Bi UmweltBau 3/2008, S. 50-52.
- [4] FGSV „Hinweise für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen (ZFSV) im Erdbau“,



Abbildung 6: Beispiele für Einflussfaktoren zum wirtschaftlichen Einsatz von ZFSV

- Entwurf 24. März 2011
- [5] DIN 18300: VOB - Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten.
  - [6] DIN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und Kanälen, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin (10.1997) und Arbeitsblatt DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall e.V., Hennef (01.2010).
  - [7] Schneider, N.: Vergleichende Analyse und Bewertung des Einsatzes selbstverdichtender Verfüllmaterialien im kommunalen Leitungsbau. Diplomarbeit (unveröffentlicht), FG Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Kaiserslautern, August 2011.
  - [8] Raganowicz, A.: Selbstverdichtendes Verfüllmaterial - Positiver Test. Bi-UmweltBau 01/2007, S. 56-59.
  - [9] Feickert, R.: Selbstverdichtendes Verfüllmaterial – vielfältige Vorteile in der Praxis. Bi-UmweltBau 04/2008, S. 33-36.

[10] Arsic, I., Triantafyllidis, Th.: „Über die Bettung von Rohrleitungen in Flüssigböden“; Bochum, Schriftenreihe des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik der Ruhr- Universität Bochum, Heft 40; Bochum (2009)

### \*AUTOREN:

Univ. Prof. Dr.-Ing. Karsten Körkemeyer,  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Christian Ochs, FG Baubetrieb und Bauwirtschaft,  
Technische Universität Kaiserslautern

Dipl.-Ing. Norman Schneider,  
TU Kaiserslautern

Dipl.-Ing. Raymund Böing,  
HeidelbergCement AG, Leimen

Dipl.-Ing. Patrick Decker,  
Heidelberger Beton GmbH, Heidelberg



## TerraFlow® der Flüssigboden aus dem Fahrmischer

TerraFlow ist ein fließfähiger Verfüllbaustoff, der mittels Fahrmischer direkt zur Baustelle geliefert wird. Seine hervorragenden Fließeigenschaften ermöglichen eine komplette, hohlraumfreie Ummantelung von Versorgungsleitungen.

Weniger Punktbelastungen bei Rohren und Kabelschächten, wiederaushebungsfähig, kein Verdichten und damit Zeit und Kosten sparen – TerraFlow ist die perfekte Lösung bei Verfüllungen und Reparaturarbeiten im Tiefbau.

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

**HEIDELBERGER  
BETON**  
HEIDELBERGCEMENT Group

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.

**Heidelberger Beton GmbH**

Berliner Straße 10  
69120 Heidelberg

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



**HEIDELBERGER  
BETON**

HEIDELBERGCEMENT Group