IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur,
Gelsenkirchen
www.ikt.de

IKT-Warentest
„Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“

Im Rahmen des Forschungsprojektes
„Vergleichende Untersuchung von zeitweise fließfähigen selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen (ZFSV)“

Gelsenkirchen, September 2020

Forschungsprojekt:

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse des IKT-Warentests zusammen, der im Rahmen des Forschungsprojektes *„Vergleichende Untersuchung von zeitweise fließfähigen selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen (ZFSV) – IKT - Warentest „Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau“ (AZ: 54.2-3.3-1911-Wt)* umgesetzt wurde.

Fördermittelgeber:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Schwannstraße 3
40476 Düsseldorf

Projektantragsteller/Auftraggeber:

Technische Werke Burscheid AöR
Pastor-Löh-Str. 12
51399 Burscheid

Auftragnehmer:

IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Bearbeitung:

Wissenschaftliche Leitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Bert Bosseler

IKT-Warentest-Leitung/-Bearbeitung

Dipl.-Ing. (FH) Serdar Ulutaş, MBA

Dipl.-Ing. Martin Liebscher
Nicole Rofall, M.Sc.
Dr.-Ing. Mark Klameth
Mirko Salomon, M.Sc.
Wiebke Knott, M.Sc.
Nina Niedrig, M.Sc.
Dennis Toth, M.Sc.
Eric Bischoff, B.Sc.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Danksagung:
Wir danken den Netzbetreibern und dem Land NRW für die finanzielle Unterstützung des Projektes sowie deren Vertretern für die fachliche Begleitung im Lenkungskreis:

Institution	**Vertreter**
Technische Werke Burscheid AöR	Herr Grauvogel Herr Hildebrand
Abwasserbetrieb Troisdorf AöR	Frau Kolvenbach Frau Gierlich
Bezirksregierung Köln	Frau Hemmann Herr Trumm
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)	Frau Brehm
Lippeverband/ Stadtentwässerung Hamm	Herr Fleer Herr Schumacher
medl GmbH	Herr Malcus Herr Böger
Stadt Gladbeck	Frau Schielke
Stadt Recklinghausen	Herr Becker Herr Möllmann
Stadtbetrieb Abwasserbeseitigung Lünen AöR	Frau Fiege
Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf	Herr Zander
Technische Betriebe Solingen	Herr Perlberg Herr Strüver
Wirtschaftsbetriebe Oberhausen GmbH/ Stadt Oberhausen	Herr Alders Herr Jendrollik Frau Pöpping Herr Schulze Herr Sarsour
WSW Energie & Wasser AG	Herr Düsterloh Herr Linden

Darüber hinaus gilt unser Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Achmus und Herrn Dipl.-Ing. Gerlach (Leibniz Universität Hannover), Herrn Prof. Dr.-Ing. Quarg-Vonscheidt und Herrn Ramler, M.Eng. (Hochschule Koblenz) für die Mitarbeit im Projekt. Zudem danken wir den folgenden weiteren Beteiligten für den Informationsaustausch und die Leistungen im Partnerprojekt „Qualitätssicherung Flüssigboden – Untersuchungen im Labor und Insitu“, die durch das geförderte Vorhaben nicht abgedeckt waren:

AGFW	Herrn Grimm, M.Sc.
Göttinger Entsorgungsbetriebe	Frau Burger Frau Schenk
Stadtwerke Essen	Herr Adamski Herr Kuczenski
Stadtwerke Osnabrück	Herr Spicker

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 HINTERGRUND ... 1

2 KONZEPT DES IKT-WARENTESTS ... 2

3 BETEILIGTE NETZBETREIBER ... 3

4 AUFGABE ... 4

4.1 VERGABE DER LOSE ... 4

4.2 VERSUCHSAUFBAU ... 6

4.3 PRÜFPROGRAMM ... 11

5 BEWERTUNGSSCHEMA ... 15

5.1 ÜBERBLICK ... 15

5.2 SYSTEMPRÜFUNGEN ... 19

5.2.1 Einbauphase ... 20

5.2.2 Nutzungsphase ... 27

5.2.3 Entsorgungsphase ... 32

5.3 QUALITÄTSSICHERUNG ... 36

5.4 VERSUCHSFELD BURSCHEID UND BAUSTELLENUNTERSUCHUNGEN ... 38

6 TESTERGEBNISSE ... 39

6.1 TESTTABELLE ... 39

6.2 SYSTEMPRÜFUNGEN ... 41

6.2.1 Einbauphase ... 41

6.2.1.1 Fließfähigkeit (K.O.-Kriterium) ... 42

6.2.1.2 Leitungsumschließung ... 44

6.2.1.3 Verfüllen der Verbauspur ... 46

6.2.1.4 Volumenstabilität ... 49

6.2.1.5 Begehbarkeit ... 50

6.2.3 Nutzungsphase ... 51

6.2.3.1 Überbaubarkeit (K.O.-Kriterium) ... 52

6.2.3.2 Setzungsrisiko ... 53

6.2.3.3 Bettungseigenschaften ... 53

6.2.3.4 Wurzelschutz ... 54

6.2.4 Entsorgungsphase ... 56

6.2.4.1 Wiederaushubfähigkeit (K.O.-Kriterium) ... 57

6.2.4.2 Wiederverwertung (K.O.-Kriterium) ... 59

6.3 QUALITÄTSSICHERUNG ... 63

7 WARENTEST-PRÜFERGEBNISSE ... 66

7.1 CARBOFILL® ... 67

7.2 RSS® FLÜSSIGBODEN ... 68

7.3 TERRAFLOW® ... 69

7.4 TERRAPACT© ... 70

7.5 WBM-FLÜSSIGBODEN® ... 71

8 FAZIT ... 72

9 LITERATUR ... 74

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

1 Hintergrund

Der vorliegende IKT-Warentest „Flüssigböden (ZFSV[1]) im Kanalbau“ wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens [1] erstellt. Der Forschungsbericht stellt detailliert dar:

- Veranlassung, Zielstellung, Aufgabenstellung und Vorgehensweise
- Flüssigboden (ZFSV) – Stand der Technik
- In-situ-Untersuchungen von Flüssigboden (ZFSV)
- Vergleichende Laborversuche von Flüssigboden (ZFSV) – IKT-Warentest „Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau“
- Muster - ZTV
- Rohrbemessungskonzept

Der vorliegende Bericht fasst die für den IKT-Warentest wesentlichen Hintergründe/ Ergebnisse zusammen.

[1] Zeitweise fließfähige selbstverdichtende Verfüllbaustoffe

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

2 Konzept des IKT-Warentests

Ziel der IKT-Warentests ist es, den Netzbetreibern zuverlässige und unabhängige Informationen über Eigenschaften von marktgängigen Produkten und Verfahren zu liefern. Angaben in Verfahrensbeschreibungen und Werbeinformationen der Anbieter über die vermeintliche Qualität ihrer Produkte werden durch den IKT-Warentest einer unabhängigen und neutralen Prüfung unterzogen. Zentraler Aspekt ist die Eignung von Produkten unter langfristigen Betriebsbedingungen. Die Prüfung der Übereinstimmung mit dem technischen Regel- und Normenwerk steht daher nicht im Vordergrund, sondern es werden vor allem während des Betriebs auftretende Beanspruchungen untersucht, denen die Produkte in der Praxis jahrzehntelang ausgesetzt sind. Die Gewährleistungsfrist für Produkte der Kanalisationstechnik beträgt heute maximal fünf Jahre. Dies ist verglichen mit den üblicherweise angestrebten Nutzungsdauern eine sehr kurze Zeitspanne. Von besonderem Nachteil für Auftraggeber sind Schäden, die erst nach Ablauf der fünfjährigen Gewährleistungsfrist auftreten. Ein Rückgriff auf den Anbieter ist nur in den seltensten Fällen möglich und zudem mit langwierigen rechtlichen Auseinandersetzungen verbunden. Hieraus resultiert ein erhebliches finanzielles Risiko für die Netzbetreiber, das durch die vergleichenden IKT-Warentests reduziert werden kann. Bei den Untersuchungen im IKT-Warentest stehen die Einbauqualität der Produkte und Verfahren und deren Abminderung während des Betriebs im Vordergrund. Dies geschieht mit Blick darauf, dass der Einsatz von Produkten bzw. Verfahren auf der Baustelle bereits eine erhebliche Qualitätsminderung im Vergleich zu der 100%igen, geprüften Werks- oder Laborqualität verursachen kann. Abhängig vom Verfahren ist im Betrieb mehr oder weniger mit einer weiteren Qualitätsminderung zu rechnen (vgl. Bild 1).

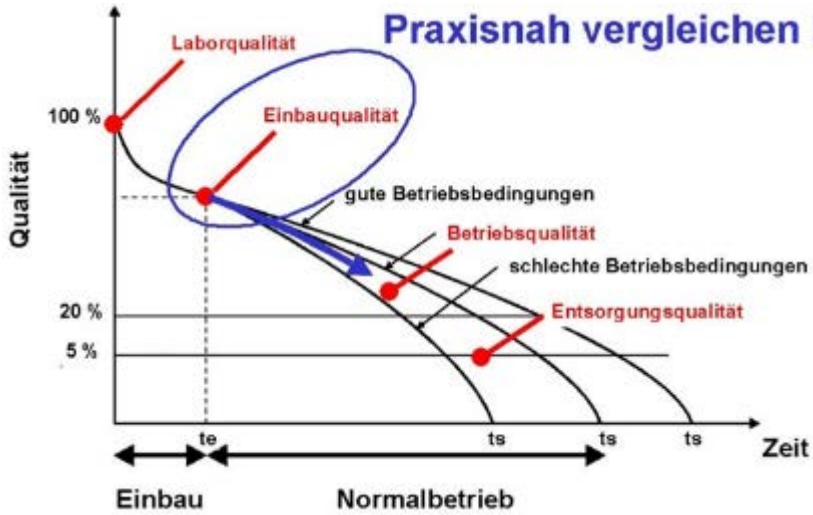

Bild 1 Untersuchungsschwerpunkt (blau) der IKT-Warentests

In diesem IKT-Warentest werden „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“ vergleichend untersucht. Die beteiligten Netzbetreiber (vgl. Kap. 3), die Vergabe der Lose, der Versuchsaufbau und das Prüfprogramm und (vgl. Kap. 4), das Bewertungsschema (vgl. Kap. 5), die Testergebnisse (vgl. Kap. 6), die Warentest-Prüfzeugnisse (vgl. Kap. 7) und das Fazit (vgl. Kap. 8) werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

3 Beteiligte Netzbetreiber

Ein vergleichender IKT-Warentest wird stets durch eine Gruppe von Netzbetreibern begleitet, dem sogenannten Lenkungskreis. Dieser Lenkungskreis entscheidet in regelmäßigen Sitzungen über

- die Auswahl von Produkten bzw. Verfahren für die erste Testreihe
- die Bau- bzw. Instandhaltungsaufgabe für den Einsatz der Produkte bzw. Verfahren im Test
- die maßgeblichen Leistungsziele und Qualitätsanforderungen
- den Umfang und die Ausrichtung des Prüfprogramms
- den Informationsaustausch mit den Produkt- bzw. Verfahrensanbietern
- die Bewertung und die Veröffentlichung der Ergebnisse

An dem IKT-Warentest „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“ und an dem Partnerprojekt „Qualitätssicherung Flüssigboden – Untersuchungen im Labor und Insitu“ waren folgende Netzbetreiber/Institutionen beteiligt:

- Technische Werke Burscheid AöR
- Abwasserbetrieb Troisdorf AöR
- Bezirksregierung Köln
- Göttinger Entsorgungsbetriebe
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)
- Lippeverband/ Stadtentwässerung Hamm
- medl GmbH
- Stadt Gladbeck
- Stadt Recklinghausen
- Stadtbetrieb Abwasserbeseitigung Lünen AöR
- Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf
- Stadtwerke Essen
- Stadtwerke Osnabrück
- Technische Betriebe Solingen
- Wirtschaftsbetriebe Oberhausen GmbH/ Stadt Oberhausen
- WSW Energie & Wasser AG

Die eigentliche Prüfung und die Dokumentation der Ergebnisse erfolgen durch das IKT als unabhängiges Institut. Das IKT ist im Rahmen der Prüfung insbesondere verantwortlich für die ingenieurtechnische Entwicklung und Umsetzung der Prüfaufbauten und des Prüfprogramms. Diesbezügliche Entscheidungen sowie insbesondere auch die Auswahl der Prüfobjekte (hier: Flüssigboden (ZFSV), vgl. Abschnitt 4.1) werden in unmittelbarer Abstimmung mit dem Lenkungskreis getroffen.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

4 Aufgabe

4.1 Vergabe der Lose

In einem ersten Schritt wurde eine Marktrecherche durchgeführt, um einen Überblick über die Verfügbarkeit von Flüssigböden (ZFSV) und deren Hersteller zu erlangen. Diese wurde anschließend den Lenkungskreismitgliedern zur Vervollständigung vorgelegt.

Für die Vergabe der Lose wurden insgesamt 16 Flüssigböden (ZFSV) recherchiert. Die Liste der recherchierten Flüssigböden (ZFSV) wurde den Teilnehmern des Lenkungskreises vorgestellt. Anschließend wurde mittels eines gewichteten Votings durch die Lenkungskreismitglieder folgende Rangliste (vgl. Tabelle 1) der zu untersuchenden Flüssigböden (ZFSV) festgelegt.

Tabelle 1 Voting-Ergebnis für Flüssigböden (ZFSV)

Rang	Hersteller	Material
1	Forschungsinstitut für Flüssigboden (FiFB) GmbH	RSS® Flüssigboden
2	Heidelberger Beton GmbH	TerraFlow®
3	WBM-Flüssigboden GmbH	WBM-Flüssigboden®
4	CEMEX Deutschland AG	füma® rapid
5	Dyckerhoff GmbH	CANADUR
6	CEMEX Deutschland AG	füma® Boden
7	Thomas Zement GmbH & Co. KG	carbofill®
8	Parcoplan GmbH	PARCOFLEX®
9	FBC GmbH	FBC-Flüssigboden
10	KIMM Baustoffwerke KG	TERRAcret®
11	NEW AG	Produktname unbekannt
12	Holcim Beton und Betonwaren GmbH	Terrapact©
13	TSN Beton	TSN-Liquid Terram
14	A. Frauenrath Bauunternehmen GmbH	FrauenrathFlüssigBoden
15	Quarzsandwerk Lang GmbH & Co.KG	Naturafix® Bodenmörtel
16	SOILTEC GmbH & Co. KG	FLOW-SOIL

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Im Rahmen des Projektes wurden 10 Flüssigboden (ZFSV) für Langzeituntersuchungen auf dem Betriebshof in Burscheid eingesetzt. Aus dem Kreis der dort eingesetzten Produkte wurden dann im weiteren Projektverlauf fünf Produkte ausgewählt und im IKT-Großversuchsstand untersucht.

Als notwendige Bedingung wurden folgende Punkte durch die Lenkungskreismitglieder festgelegt, die allesamt erfüllt werden müssen:

- Der Boden muss reproduzierbar sein: In-situ und im Labor (IKT-Großversuchsstand) muss aus Gründen der Vergleichbarkeit exakt dasselbe Produkt eingesetzt werden. Dabei ist es egal, ob es sich um Kies/Sand oder Aushub handelt. Darüber hinaus muss das eingesetzte Material dauerhaft verfügbar sein. Dies muss der Produzent schriftlich bestätigen und sein Produkt ebenfalls über Produktkennwerte beschreiben.
- Die seitens der Lenkungskreismitglieder definierten Anforderungen an die Materialien im IKT-Warentest „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau" müssen erfüllt werden (vgl. Tabelle 3).
- Das Material muss in Nordrhein-Westfalen sowohl nach Gelsenkirchen als auch nach Burscheid lieferbar sein. Zudem muss die Pumpfähigkeit des Materials gewährleistet sein.

Nach Rückmeldung der Hersteller hinsichtlich der Lieferung nach Burscheid und Gelsenkirchen verblieben sechs Materialien. Das Material CANADUR ist nach Aussage des Herstellers „Dyckerhoff GmbH“ zum Einbauzeitpunkt nicht pumpfähig, sodass es diese notwendige Bedingung nicht erfüllt. Darüber hinaus rückt der Hersteller „Holcim Beton und Betonwaren GmbH“ stellvertretend für den Hersteller „Cemex Deutschland AG“ nach, da der Hersteller „Holcim“ Teile der „Cemex Deutschland AG“ erworben hat und entsprechend die Materiallieferungen nach Gelsenkirchen und Burscheid anbietet.

Nachfolgend ist die Auswahl der Materialien durch die Lenkungskreismitglieder für den IKT-Warentest „Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau" dargestellt (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2 Auswahl der Materialien durch die Lenkungskreismitglieder für den IKT-Warentest „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau"

Hersteller	Material
FiFB GmbH	RSS® Flüssigboden
Heidelberger Beton GmbH	TerraFlow®
WBM-Flüssigboden GmbH	WBM-Flüssigboden®
Holcim Beton und Betonwaren GmbH	Terrapact©
Thomas Zement GmbH & Co. KG	carbofill®

Für die Versuchsreihe wurde in Abstimmung mit dem Lenkungskreis ein Versuchsaufbau beschlossen und ein Prüfprogramm entwickelt, das die verschiedenen Stadien von der Einbauphase, über die Nutzungsphase bis zur Entsorgungsphase abdeckt. Die Einzelheiten sind in den nachstehenden Abschnitten (Kap. 4.2 und 4.3) erläutert.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

4.2 Versuchsaufbau

Im Großversuchsstand des IKT mit den lichten Abmessungen b x h x l = 6 x 6 x 15 m wurden die ausgewählten fünf Flüssigböden (ZFSV) untersucht. Für alle fünf zu testenden Flüssigböden (ZFSV) wurden im IKT-Großversuchsstand jeweils Kammern mit einer Breite von 3 m, einer Länge von 6 m und einer Tiefe von 3,5 m erstellt. Der schematische Aufbau ist in Bild 2 abgebildet. Der untere Bereich der Versuchskammer wurde mit einer 2,5 m dicken Schicht aus einem Kies-Sand-Gemisch der Körnung 0-8 mm aufgefüllt. Die Abtrennung der einzelnen Kammern erfolgte durch den Einbau von Stahlplatten mit einer Einbindetiefe von 1,2 m in die Sandschicht. Das Auflager hierfür wurde auf U-Profilen aus Stahl ausgeführt. Zwei Aussteifungen in 1,0 m und 2,2 m Tiefe dienten zur Stützung gegen den vorübergehend auftretenden Flüssigkeitsdruck während des Einfüllvorgangs. Sie bestanden aus Gurten aus HEA-Stahlprofilen entlang der Platten und jeweils vier Steifen aus Rundstahl. Die statische Berechnung des Verbaus erfolgte gemäß den gängigen Richtlinien und Normen. Nach Fertigstellung wurden die Kammern in den Ecken mit Dichtmaterial gegen das Abfließen von Flüssigboden (ZFSV) bzw. Überschusswasser in die Nachbarkammern abgedichtet.

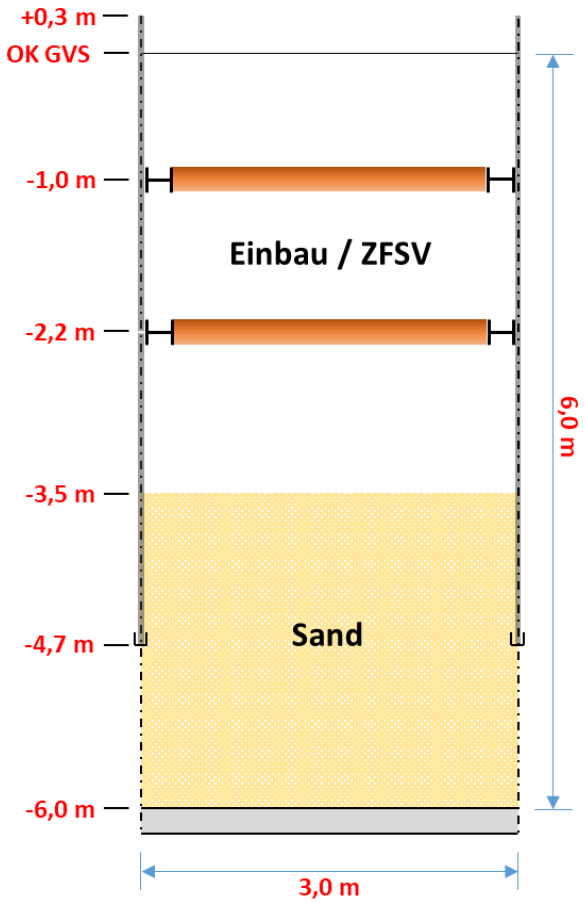

Bild 2 Aufbau einer Versuchskammer mit Stahlplatten und Stützkonstruktion sowie Sandfüllung in der Frontansicht

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Nach dem Aufbau der Kammern erfolgte die Installation der Einbauten (vgl. Bild 3). Diese bestanden aus zwei einander gegenüberliegend angebrachten Schächten (Betonschacht DN 1000, Fa. Berding, unbewehrt und Kunststoffschacht DN 1000, Wavin Tegra PE) in der Längsachse der Kammer. Aufgrund der unterschiedlichen Höhenlagen der Zuläufe in den Bodenteilen der Schächte, wurde der Kunststoffschacht um 20 cm höhenversetzt eingebaut. Die Schächte waren an ihren Zuläufen mit einem Kunststoffrohr (Acaro PP SN 12 RW DN/OD 315, Fa. Wavin) verbunden, dessen Unterseite ca. 30 cm über dem Grund der Versuchskammer lag. Am Einlauf in den Kunststoffschacht reduzierte sich der Bodenabstand auf ca. 10 cm. Mittig in der Einbaukammer wurden beidseitig des Rohres DN 315 Verbaukästen zur Simulation des Ziehens eines Verbaus eingebaut (vgl. Bild 4). Diese standen auf dem Boden der Versuchskammer auf und ragten bis ca. 10 cm über deren Oberkante. Der Seitenabstand zum Rohr betrug ca. 46 cm (ca. 1,5 x DN), sodass die Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 [2] mit mind. 25 cm Seitenabstand eingehalten wurde. Die Verbaukästen bestanden aus jeweils zwei unterschiedlichen Bereichen, die mit einem beweglich gelagerten Blech zur Simulation des schrittweisen Ziehens eines Verbaus versehen waren. Hinter einem Blech befand sich ein ca. 15 cm tiefer Hohlraum, der beim Ziehen vollständig gefüllt werden sollte. Hinter dem anderen Blech stand ein mitteldicht gelagerter Sandboden an, der beim Ziehen in direkten Kontakt mit dem Flüssigboden (ZFSV) kommen sollte (vgl. Bild 5). Die gegenüber stehende Versuchskammer war aus Symmetriegründen spiegelbildlich angeordnet, um nach dem Einfüllen des Flüssigbodens (ZFSV) potentielle Einflüsse auf das Rohr durch das Verbauziehen unter abweichenden Randbedingungen eindeutig zuordnen zu können. Das Füllen der Verbaukästen mit Sand erfolgte zudem, um die Struktur gegen Auftrieb zu sichern.

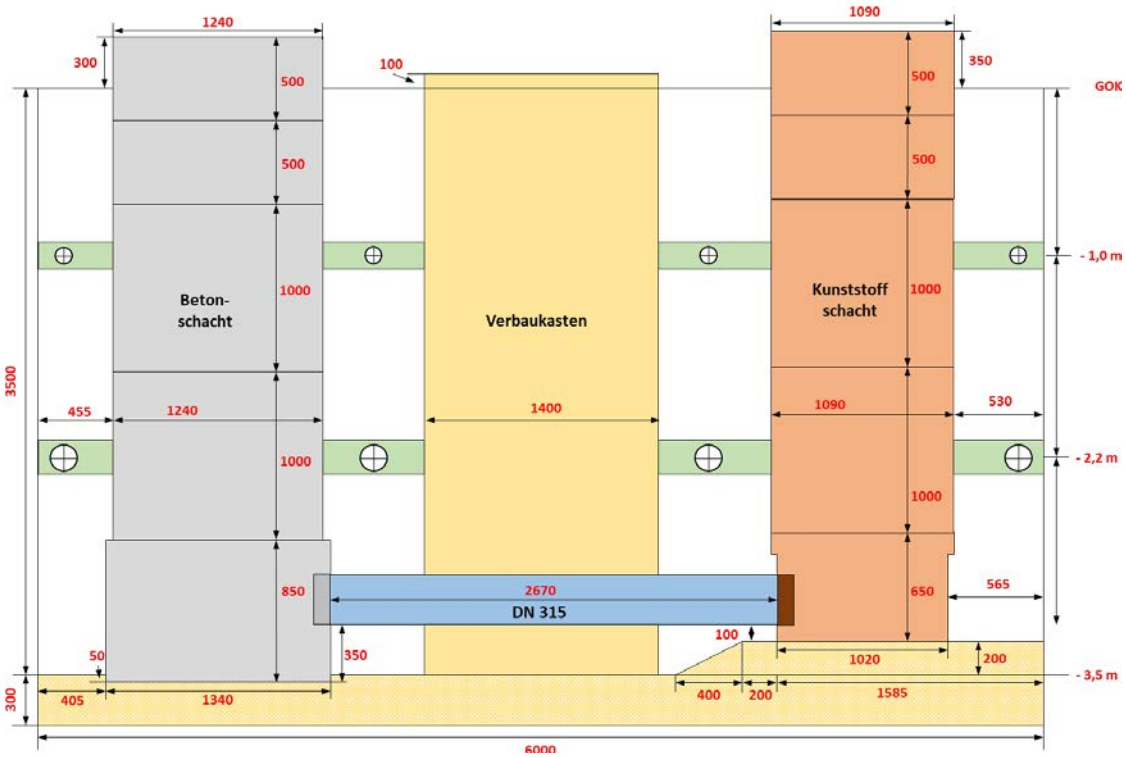

Bild 3 Schematische Darstellung der Einbauten in einer Versuchskammer, Gurtlagen (grün) mit Steifen, Seitenansicht schematisch

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 4 Einbauten in einer Versuchskammer vor dem Einbau des Flüssigbodens (ZFSV) mit Betonschacht (hinten), Kunststoffschacht (vorne) und Verbaukästen (seitlich)

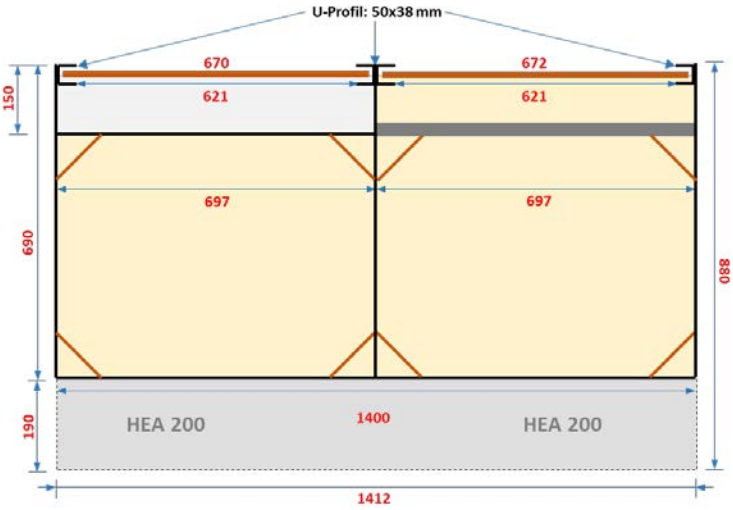

Bild 5 Detailansicht der Verbaukästen mit Hohlraumverfüllung (links) und Ziehen gegen den anstehenden Sand (rechts), Draufsicht schematisch

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 6 zeigt die Einbauten und die Aussteifungen einer Kammer in Höhe der ersten Steifenlage in der Draufsicht. Zur Simulation der Umschließung von gering überdeckten Leitungen mit geringem Durchmesser wurden unter der ersten Steifenlage jeweils ca. 10 cm vor den Verbaukästen zwei einzelnen PE-Kunststoffrohre DN 100 und DN 80 (Längsleitungen) angebracht. Seitlich des Kunststoffschachts wurde unter den Steifen ein Leitungspaket von PE-Kunststoffrohren DN 100 und DN 80 im Format 2x2 mit geringem Abstand von ca. 5 cm angebracht, um das Umfließen der Leitungen bei geringen Abständen zu untersuchen. Darüber hinaus dienten die zwei mittleren Steifen zusätzlich als Querleitungen, um die Leitungsumschließung zu bewerten.

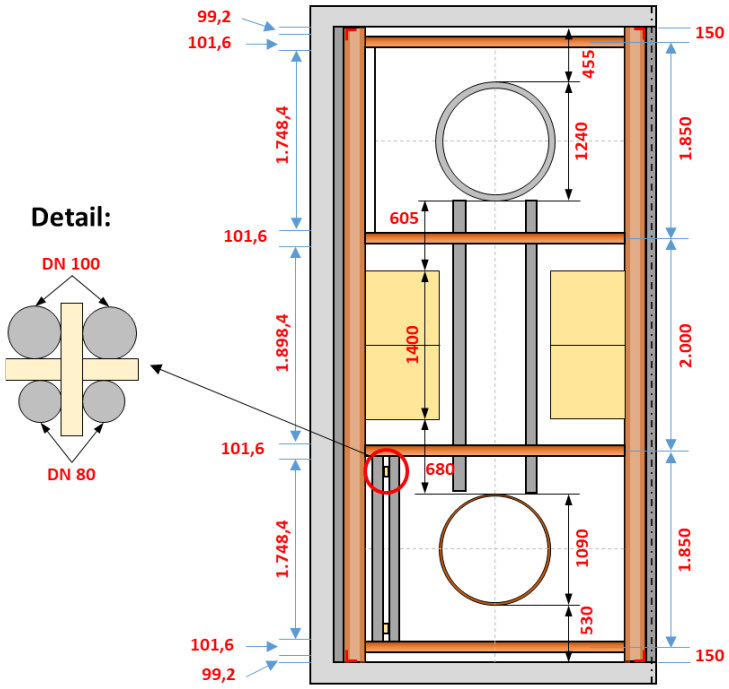

Bild 6 Einbauten im Bereich der oberen Steifenlage mit PE-Leitungen und Leitungspaket mit Detailansicht (links), Draufsicht schematisch

Um während des Einfüllvorgangs den Auftriebseffekt sowohl auf die Schächte als auch auf das Rohr DN/OD 315 zu untersuchen, wurden Schächte und Rohr mit Auftriebssicherungen und Kraftmessdosen versehen, die ein Aufschwimmen verhindern und gleichzeitig auftretende Auftriebskräfte messen sollten.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

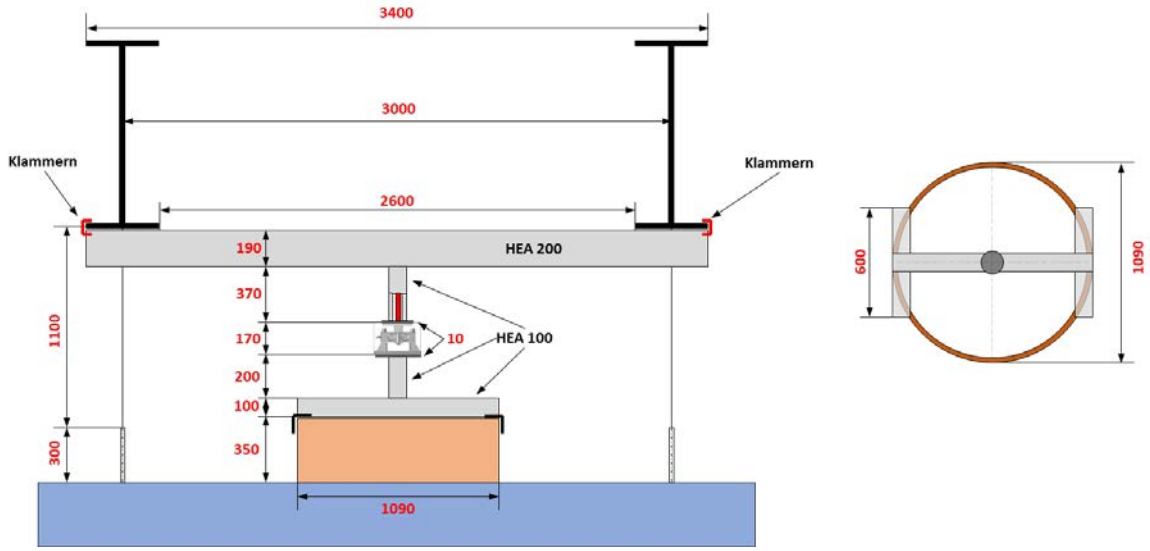

Bild 7 Auftriebssicherung am Kunsstoffschacht mit Kraftmessdose in der Seitenansicht (links) und in der Draufsicht (rechts), Detail schematisch

Bild 8 Auftriebssicherung an Schächten und Rohr DN/OD 315 mit Kraftmessdosen

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

4.3 Prüfprogramm

In Abstimmung mit dem Lenkungskreis wurde ein Prüfprogramm beschlossen, mit dem die Anforderungen an die ausgewählten Flüssigböden (ZFSV) für den Einsatz im Kanalbau getestet wurden. Das Prüfprogramm ist nachfolgend dargestellt.

1) **Einbau des Versuchsaufbaus in den Großversuchsstand**
2) **Steifigkeitsmessung der Rohre und Schächte mit dem Mini-MAC-System**
   Mithilfe des Mini-MAC-Systems werden in Rohr DN/OD 315 (Hauptleitung) Messungen zum Steifigkeitsverhalten des Rohr-Boden-System durchgeführt. Die Messungen werden vor den Verbaukästen jeweils mittig vor den Kammern mit dem Hohlraum und dem anstehenden Sand durchgeführt. Diese Prüfung im unverfüllten Zustand dient als Nullmessung, um im weiteren Verlauf die Bettungskontinuität zu bestimmen (vgl. Prüfprogramm Nr. 18).
3) **Lagevermessung der Rohre und Schächte im Großversuchsstand**
4) **Einfüllen des Flüssigbodens (ZFSV) in den Großversuchsstand (Fließfähigkeit)**
   Das Einfüllen des Flüssigbodens (ZFSV) erfolgte an zwei aufeinanderfolgenden Tagen. Am ersten Tag wurde nominal bis zur ersten Steifenlage (1,20 m) verfüllt, um die einwirkenden Kräfte auf das Rohr und den Verbau zu reduzieren. Am zweiten Tag erfolgte die restliche Verfüllung bis zur Oberkante des Großversuchsstandes.
5) **Bestimmung des Ausbreitmaßes (Fließfähigkeit)**
   Von jeder Herstellerlieferung wird beim Einbau das Ausbreitmaß nach DIN EN 12350-5 [3] des Flüssigbodens (ZFSV) ermittelt. Es wird überprüft, ob jede einzelne Lieferung die geforderte Konsistenz (min. F5) erreicht. Zusätzlich wird der Mittelwert der Messungen erfasst (mittlere Konsistenz). Darüber hinaus wird die Lieferbeständigkeit des Materials überprüft.
6) **Bestimmung des pH-Wertes des Flüssigbodens (ZFSV) bei jeder Lieferung (Zusatzinformation)**
7) **Probenentnahme (Setzungsrisiko, Wurzelschutz, Wiederaushubfähigkeit, Wiederverwertung)**
   Verteilt über alle Lieferungen eines Flüssigbodens (ZFSV) werden Proben zur Erstellung von Prüfkörpern entnommen. Im Detail sind dies:
   - 3 Zylinderprüfkörper (d = 150 mm) zur Ermittlung des Setzungsrisikos
   - 1 Zylinderprüfkörper (d = 80 mm) zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit
   - 15 Würfelprüfkörper (Maße: 150 mm x 150 mm x 150 mm) zur Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit nach 7, 14, 28, 56 und 112 Tagen, gelagert bei ca. 15°C - 20°C
   - 1 Würfelprüfkörper (Maße: 150 mm x 150 mm x 150 mm) zur Ermittlung der Wiederverwertung (Eluierbarkeit mit Wasser im Trogversuch)
   - 1 Wasserprobe aus dem Überschusswasser der Grube im Großversuchsstand

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

8) Durchführung des Absetztestes (Volumenstabilität)
Aus den Lieferungen des Flüssigbodens (ZFSV) wird Material entnommen und ca. 90 cm hoch in Plexiglasröhren DN 100 eingefüllt. Mithilfe eines Absetztests in Anlehnung an die DIN EN 445 [8] wird die Volumenänderung und die Wasserabsonderung dokumentiert.

9) Bestimmung der Fließgrenze mittels Viskowaage (Zusatzinformation)
Es wird das zeitabhängige Verhalten der Fließgrenze des einzubauenden Materials gemäß FGSV Arbeitskreis 5.3.2 [4] bestimmt. Hieraus sollen Rückschlüsse auf den optimalen Zeitpunkt des Einbaus bzw. des Ziehens des Verbaus gezogen werden. Des Weiteren geben die Ergebnisse aus der Früherhärtung Aufschlüsse auf die spätere Festigkeitsentwicklung.

10) Durchführung des Drei-Segment-Zylinderversuchs (Fließfähigkeit)
Aus den Lieferungen des Flüssigbodens (ZFSV) wird Material entnommen und in den Drei-Segment-Zylinder eingefüllt, um einen Auswaschversuch in Anlehnung an das BAW Merkblatt „Entmischungssensibilität von Beton“ (MESB) [5] durchzuführen.

11) Ziehen der Verbauelemente (Verfüllen der Verbauspur)
Nach jedem Einfüllvorgang werden die Verbauelemente in beiden Kammern des Verbausimulators schrittweise und nach zeitlicher Vorgabe des Herstellers gezogen. Zur Stabilisierung des anstehenden Bodens müssen die Elemente während des Verfüllvorgangs jedoch mind. 25 cm tief in den Flüssigboden (ZFSV) einbinden. Nach dem vollständigen Füllen des Versuchsaufbaus und Entfernen der Verbauelemente soll in der einen Hälfte des Verbaukastens der Hohlraum vollständig und zusammenhängend ausgefüllt sein und in der zweiten Hälfte der Flüssigboden (ZFSV) gegen den Sand anstehen, ohne dass es zu Einbrüchen kommt. Beim Ausbau wird die Hohlraumverfüllung und das Anstehen des Flüssigbodens (ZFSV) an den Sand über die Ausbautiefe kontinuierlich beobachtet und jeweils in Höhe der oberen und unteren Steifenlage fotografisch dokumentiert (vgl. Schritt 24).

12) Messen des niveaugleichen Füllens (Fließfähigkeit)
Der Flüssigboden (ZFSV) ist auf der Seite des Betonschachts wechselseitig einzufüllen. Die Einfüllhöhe über dem bereits eingebrachten Flüssigboden (ZFSV) beträgt max. 1,0 m, und es darf nur bis zur Steifenlage zwischen Betonschacht und Verbaukasten eingefüllt werden. Es wird überprüft, ob sich der einzubauende Flüssigboden (ZFSV) unter diesen Randbedingungen gleichmäßig im Versuchsaufbau verteilt. Hierzu wird nach Abschluss des Einbaus das Höhenniveau gemessen und die Differenz zwischen dem höchsten und dem tiefsten Punkt im Versuchsaufbau ermittelt.

13) Durchführung der Begehbarkeitsprüfung (Begehbarkeit)
Drei Stunden nach der letzten Mischfahrzeugbefüllung am 2. Tag wird im zeitlichen Abstand von ca. 30 min eine Begehbarkeitsprüfung des Materials durchgeführt. Hierbei wird ein kreisrunder Aluminiumfuß (ca. 5 kg) mit d = 120 mm auf den frischen Flüssigboden (ZFSV) aufgestellt und in Schritten zu je 5 kg belastet, bis der Fuß 1 cm tief in das Material eingesunken ist. Der Versuch wird so oft wiederholt,

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

bis diese Einsinktiefe bei einem Gesamtgewicht von 85 kg nicht mehr überschritten wird.

14) **Bewertung der Oberflächeneigenschaften (Wurzelschutz)**
Erfolgt durch eine Inaugenscheinnahme des Flüssigbodens (ZFSV) hinsichtlich Auffälligkeiten auf der gesamten Oberfläche der Baugrube im IKT-Großversuchsstand durch einen IKT-Gutachter.

15) **Durchführung statischer Lastplattendruckversuche (Überbaubarkeit)**
An jedem Versuchsfeld werden nach 7, 14, 28 und 56 Tagen statische Lastplattendruckversuche gemäß DIN 18134 [6] durchgeführt und die zeitliche Entwicklung der Last-Verformungs-Werte (E_{V2}-Werte) protokolliert.

16) **Bestimmung der Druckfestigkeit (Wiederaushubfähigkeit)**
Die Messung der einaxialen Druckfestigkeit und des E-Moduls der bei Anlieferung des ZFSV entnommenen Prüfkörper, die bei ca. 15°C - 20°C gelagert wurden, wird jeweils nach 7, 14, 28, 56 und 112 Tagen durchgeführt. Mit den Ergebnissen der Druckfestigkeitsprüfung wird das Nacherhärtungsverhalten und die 50-Jahre Prognose berechnet.

17) **Bestimmung des Schwind- und Schrumpfverhalten (Setzungsrisiko)**
Hierbei werden je drei KG-Rohre DN 150 ca. 15 cm hoch mit einem Flüssigboden (ZFSV) gefüllt und das Schwind- und Schrumpfverhalten im Labor bei 23°C und 50% rel. Luftfeuchtigkeit über eine Dauer von ca. 120 Tagen untersucht.

18) **Bestimmung der Bettungskontinuität mit dem Mini-MAC-System (Bettungseigenschaften)**
Mithilfe des Mini-MAC-Systems werden in Rohr DN/OD 315 (Hauptleitung) Messungen zum Steifigkeitsverhalten des Rohr-Boden-System nach 28 und 56 Tagen von einem IKT-Gutachter durchgeführt. Die Messungen werden vor den Verbaukästen jeweils mittig vor den Kammern mit dem Hohlraum und dem anstehenden Sand durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, ob eine gleichmäßige Bettung vorhanden ist, oder ob die Verbausituation und andere Randbedingungen die resultierende Rohr-Boden-Steifigkeit beeinflussen.

19) **Bestimmung der Lösbarkeit nach 56 Tagen (Wiederaushubfähigkeit)**
Die Mitglieder des Lenkungskreises betreten nach 56 Tagen den Versuchsstand und heben mithilfe eines Normspatens probeweise den Flüssigboden (ZFSV) aus. Der subjektive Eindruck der Teilnehmer wird in Form von Schulnoten erfasst und mit den Ergebnissen der Würfeldruckprüfungen abgeglichen.

20) **Beginn des Ausbaus**

21) **Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (Wurzelschutz)**
Aus den während des Einbaus entnommenen Proben wird der k_f-Wert aller Materialien gemäß DIN 18130-1 [7] ermittelt.

22) **Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser im Trogversuch (Wiederverwertung)**
Die aus dem eingebauten Material entnommenen Proben werden mithilfe von Eluatuntersuchungen auf umweltrelevante Stoffe in Anlehnung an die LAGA M20 [11] untersucht.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

23) Durchführung der Überschusswasserprüfung (Wiederverwertung)
Das Überschusswasser des eingebauten Flüssigbodens (ZFSV) wird auf umweltrelevante Stoffe in Anlehnung an die LAGA M20 bzw. auf typische Betonüberschusswasserparameter untersucht (Wasserqualität).

24) Betrachtung der Verbauspur (Verfüllen der Verbauspur)
Die Verbauspur für die Hohlraumverfüllung und das Verfüllen direkt gegen den Sandboden (Kontakt) wird während des Aushubs kontinuierlich auf Verbrüche und Unregelmäßigkeiten hin untersucht. Im Bereich der Oberfläche und auf Höhe der beiden Steifenlagen findet jeweils eine fotografische Erfassung des Zustands zur Dokumentation statt. Darüber hinaus wird überprüft, ob Bruchrisiken an der Oberfläche im Bereich des Verbaukastens vorhanden sind.

25) Bewertung der Leitungsumschließung (Leitungsumschließung)
Während des Aushubs wird die Umschließung der Steifenlagen (Querleitungen), Längsleitungen, Leitungspakete und des Rohres DN/OD 315 (Hauptleitung) mit Flüssigboden (ZFSV) betrachtet. Die Untersuchung erfolgt optisch und qualitativ auf mögliche Hohlräume und deren potentielle Relevanz für eine statische Bemessung.

26) Lagevermessung der Rohre und Schächte (Bettungseigenschaften)

27) Finaler Ausbau des Flüssigbodens (ZFSV)

28) Beurteilung des Pflanzversuches (Wurzelschutz)

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

5 Bewertungsschema

5.1 Überblick

Ziel der IKT-Warentests ist es, am Markt angebotene Produkte, Verfahren bzw. Leistungen zu bewerten, mögliche Verbesserungspotentiale aufzuzeigen und gleichzeitig einen Marktdruck aufzubauen, damit diese Potentiale von den Produkt-, Verfahrens- bzw. Leistungsanbietern auch genutzt werden. Der Netzbetreiber als Kunde gibt vor, welche Qualitätsanforderungen an die Produkte, Verfahren bzw. Leistungen gestellt werden und wie diese vor diesem Hintergrund zu bewerten sind.

Im IKT-Warentest „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“ wurden Anforderungen durch die Lenkungskreismitglieder an die Materialien gestellt, die in Tabelle 3 detailliert aufgeführt sind.

Tabelle 3 Anforderungen seitens der Lenkungskreismitglieder an die Materialien im IKT-Warentest „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau"

Anforderungen an die Materialien im IKT-Warentest „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“
Fließfähigkeit: ▪ Ausbreitmaß mind. F5 ▪ Benennen eines Zeitintervalls für das Ziehen des Verbaus ▪ Benennen eines Zeitintervalls für das Entfernen der Auftriebssicherung ▪ Pumpfähigkeit des Materials (ZFSV) ▪ Niveaugleiches Füllen ▪ Hohlraumfreies Verfüllen der Verbauspur ▪ Hohlraumfreies Umschließen der Leitungen
Absetzversuch: ▪ Hohe Volumenstabilität
Begehbarkeit: ▪ Schnellstmöglich, spätestens nach 12 Stunden
Überbaubarkeit: ▪ $E_{v2} \geq 45$ MN/m² nach 28 Tagen
Setzungsrisiko: ▪ Geringes Schwinden und Schrumpfen
Wiederaushubfähigkeit: ▪ Leichte bis mittlere Festigkeit: $f_c < 0{,}3$ N/mm² nach 28 Tagen ▪ Geringe Nacherhärtung: $f_z < 0{,}15$ N/mm²
Sonstige Anforderungen: ▪ Widerstand gegen Durchwurzelung ▪ Keine Aggressivität gegen übliche Rohrwerkstoffe ▪ Nachweis der Umweltverträglichkeit

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Im vorliegenden IKT-Warentest wurden die Flüssigböden (ZFSV) einem mehrteiligen Test unterzogen:

- „Systemprüfungen“
- „Qualitätssicherung“.

Die Bewertungsnote gründet sich auf Ergebnissen der zwei Bewertungsschwerpunkte, den „Systemprüfungen“ und der „Qualitätssicherung“.

Darüber hinaus werden Zusatzinformationen (z.B. „Anzahl der Lieferungen“ und „Zeitbedarf für den Einbau“), dargestellt, die nicht benotet werden.

Tabelle 4 zeigt das durch die Lenkungskreismitglieder festgelegte Bewertungsschema mit den Bewertungsschwerpunkten inklusive Wichtung.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 4 Bewertungsschema (Überblick) mit Wichtung

Bewertungsschema (Überblick)			
Systemprüfungen	**85 %**	**Qualitätssicherung**	**15 %**
Einbauphase ▪ Fließfähigkeit (K.O.-Kriterium) (30 %) ▪ Mittlere Konsistenz ▪ Lieferbeständigkeit ▪ Mischungsstabilität ▪ Niveaugleiches Füllen ▪ Leitungsumschließung (20 %) ▪ Querleitungen ▪ Längsleitungen und Leitungspaket ▪ Hauptleitung ▪ Verfüllen der Verbauspur (20 %) ▪ Hohlraumverfüllung ▪ Kontakt ▪ Bruchrisiken ▪ Volumenstabilität (10 %) ▪ Wasserabsonderung ▪ Volumenänderung ▪ Begehbarkeit (20 %)	**40 %**	▪ Lieferschein (20 %) ▪ Kennzeichen des Lieferfahrzeuges ▪ Name und Adresse des Herstellers/Lieferanten ▪ Name des Produktes, Sorten-Nr. ▪ Konsistenz (z.B.plastisch, fließfähig) ▪ Kunden- und Baustellenbezeichnung ▪ Lieferscheinnummer ▪ Menge (Volumen) ▪ Herstellungsdatum und -uhrzeit ▪ Uhrzeit der Übergabe des Flüssigbodens (ZFSV) ▪ Unterschriftenfelder ▪ Regelung für die Wasserzugabe vor Ort ▪ Zusammensetzung ▪ Eigenüberwachung (20 %) ▪ Eigenüberwachungskonzept ▪ Eigenüberwachung (IKT-Warentest): Im frischen Zustand ▪ Eigenüberwachung (IKT-Warentest): Im festen Zustand ▪ Qualitätszeichen (20 %) ▪ Schulungen (20 %) ▪ Schulungskonzept für Anwender ▪ Schulungskonzept für das Mischwerk ▪ Schulungsnachweis Mischwerk (IKT-Warentest) ▪ Besondere Auffälligkeiten (K.O.-Kriterium) (20 %)	
Nutzungsphase ▪ Überbaubarkeit (K.O.-Kriterium) (40 %) ▪ Setzungsrisiko (25 %) ▪ Bettungseigenschaften (30 %) ▪ Rohrverformung ▪ Bettungskontinuität ▪ Wurzelschutz (5 %) ▪ Durchlässigkeit ▪ Oberflächeneigenschaften ▪ Pflanzversuch	**30 %**		
Entsorgungsphase ▪ Wiederaushubfähigkeit (K.O.-Kriterium) (80 %) ▪ Lösbarkeit nach 56d (35 %) ▪ Druckfestigkeit nach 28d (30 %) ▪ Nacherhärtung (30 %) ▪ 50-Jahre-Prognose (5 %) ▪ Wiederverwertung (K.O.-Kriterium) (20 %) ▪ Eluatuntersuchung ▪ Wasserqualität	**30 %**	▪ Zusatzinformationen (ohne Benotung) ▪ pH-Wert Material (Einbau) ▪ Viskowaage (Mittlere Scherfestigkeit 1./ 2. Tag) ▪ Zeitbedarf für den Einbau ▪ Mischwerk ▪ Entfernung vom Mischwerk zum IKT ▪ Anzahl der Lieferungen ▪ Materialkosten ▪ Pumpkosten ▪ Prüfkosten ▪ Entsorgungskosten	

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Aus den in Tabelle 4 dargestellten Bewertungskriterien wurden von den Lenkungskreismitgliedern folgende fünf als **K.O.-Kriterien** festgelegt:

- Fließfähigkeit
- Überbaubarkeit
- Wiederaushubfähigkeit
- Wiederverwertung
- Besondere Auffälligkeiten

Wenn ein K.O.-Kriterium mit mindestens einem „mangelhaft (5,0)“ bewertet wird, dann erfolgt bei dem IKT-Prüfurteil (Gesamtnote) eine Abwertung um je einen Notenpunkt (1,0).

Im Lenkungskreis wird darüber hinaus über die **grundsätzliche Einsatzfähigkeit** des Materials im Kanalbau entschieden,

- wenn der getestete Flüssigboden (ZFSV) in zwei oder mehr K.O.-Kriterien oder entsprechenden Unterkriterien ein „mangelhaft (5,0)“ erhält.
- wenn ein Material in mindestens einem K.O.-Kriterium oder entsprechenden Unterkriterien mit „ungenügend (6,0)“ bewertet wird.
- wenn der getestete Flüssigboden (ZFSV) im K.O.-Kriterium „Besondere Auffälligkeiten“ ein aus Sicht des Lenkungskreises kritisches Verhalten zeigt.

Bewertet der Lenkungskreis den Flüssigboden (ZFSV) als „nicht im Kanalbau einsetzbar“, wird das IKT-Prüfurteil „ungenügend (6,0)“ unabhängig von den weiteren Teilnoten vergeben.

Das detaillierte Bewertungsschema mit den Benotungen der Flüssigböden (ZFSV) hinsichtlich der „Systemprüfungen“ und der „Qualitätssicherung“ ist in den nachfolgenden Abschnitten 5.2 und 5.3 dargestellt.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

5.2 Systemprüfungen

Der Bewertungsschwerpunkt „Systemprüfungen“ geht mit 85 % in das jeweilige Prüfurteil ein und wird mit Noten zwischen „sehr gut (1,0)“ und „ungenügend (6,0)“ bewertet. In den Bewertungsschwerpunkt fließen die Kriterien „Einbauphase“ (40 %), „Nutzungsphase“ (30 %), „Entsorgungsphase“ (30 %) mit den jeweiligen Unterkriterien (vgl. Tabelle 5) ein.

Tabelle 5 Bewertungsschema „Systemprüfungen"

Prüfkriterium und Gewichtung	Bewertung

Einbauphase (40 %)
▪ Fließfähigkeit (K.O.-Kriterium) (30 %)
  ▪ Mittlere Konsistenz
  ▪ Lieferbeständigkeit
  ▪ Mischungsstabilität
  ▪ Niveaugleiches Füllen
▪ Leitungsumschließung (20 %)
  ▪ Querleitungen
  ▪ Längsleitungen und Leitungspaket
  ▪ Hauptleitung
▪ Verfüllen der Verbauspur (20 %)
  ▪ Hohlraumverfüllung
  ▪ Kontakt
  ▪ Bruchrisiken
▪ Volumenstabilität (10 %)
  ▪ Wasserabsonderung
  ▪ Volumenänderung
▪ Begehbarkeit (20 %)
	Von „sehr gut (1,0)“ bis „ungenügend (6,0)“

Nutzungsphase (30 %)
▪ Überbaubarkeit (K.O.-Kriterium) (40 %)
▪ Setzungsrisiko (25 %)
▪ Bettungseigenschaften (30 %)
  ▪ Rohrverformung
  ▪ Bettungskontinuität
▪ Wurzelschutz (5 %)
  ▪ Durchlässigkeit
  ▪ Oberflächeneigenschaften
  ▪ Pflanzversuch	

Entsorgungsphase (30 %)
▪ Wiederaushubfähigkeit (K.O.-Kriterium) (80 %)
  ▪ Lösbarkeit nach 56d (35 %)
  ▪ Druckfestigkeit nach 28d (30 %)
  ▪ Nacherhärtung (30 %)
  ▪ 50-Jahre-Prognose (5 %)
▪ Wiederverwertung (K.O.-Kriterium) (20 %)
  ▪ Eluatuntersuchung
  ▪ Wasserqualität	

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

5.2.1 Einbauphase

Das Kriterium „Einbauphase“ wird anhand von fünf Kriterien und zwölf Unterkriterien mit insgesamt 40 % bewertet. Diese Kriterien sind die „Fließfähigkeit“ (K.O.-Kriterium) (30 %), die „Leitungsumschließung (20 %)“ das „Verfüllen der Verbauspur“ (20 %), die „Volumenstabilität“ (10 %) und die „Begehbarkeit“ (20 %).

Das Bewertungsschema mit den jeweiligen Gewichtungen für das Kriterium „Einbauphase“ ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6 Bewertungsschema für das Kriterium „Einbauphase"

Einbauphase (40 %)	Bewertung
Fließfähigkeit (K.O.-Kriterium) (30 %) ▪ Mittlere Konsistenz ▪ Lieferbeständigkeit ▪ Mischungsstabilität ▪ Niveaugleiches Füllen	Von „sehr gut (1,0)“ bis „ungenügend (6,0)“
Leitungsumschließung (20 %) ▪ Querleitungen ▪ Längsleitungen und Leitungspaket ▪ Hauptleitungen	
Verfüllen der Verbauspur (20 %) ▪ Hohlraumverfüllung ▪ Kontakt ▪ Bruchrisiken	
Volumenstabilität (10 %) ▪ Wasserabsonderung ▪ Volumenänderung	
Begehbarkeit (20 %)	

Nachfolgend werden die fünf Kriterien mit den jeweiligen Unterkriterien detailliert erläutert.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Fließfähigkeit (K.O.-Kriterium)

Das K.O.-Kriterium „Fließfähigkeit“ setzt sich aus vier Unterkriterien zusammen. Für die Bewertung des Kriteriums „Fließfähigkeit“ werden die Kritikpunkte aus den Unterkriterien „Mittlere Konsistenz“, „Lieferbeständigkeit“, Mischungsstabilität“ und „Niveaugleiches Füllen“ gemäß Tabelle 7, Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10 gesammelt und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 11 benotet.

Die Kritikpunkte für das Unterkriterium **„Mittlere Konsistenz“** werden ermittelt, in dem das Ausbreitmaß des Materials je Fahrzeuglieferung bestimmt wird. Die einzelnen Prüfwerte werden anschließend aufsummiert und durch die Anzahl der Fahrzeuglieferungen geteilt, um so die mittlere Konsistenz (Ausbreitmaßklasse) zu erhalten.

Es werden null Kritikpunkte vergeben, wenn eine Ausbreitmaßklasse (mittlere Konsistenz) von F5/F6 vorliegt. Das Material erhält drei bzw. sechs Kritikpunkte, wenn eine Ausbreitmaßklasse von F3/F4 bzw. F1/F2 bestimmt wurde (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Mittlere Konsistenz"

Kritikpunkte „Mittlere Konsistenz“	
Ausbreitmaßklasse F5/F6	0 Kritikpunkte
Ausbreitmaßklasse F3/F4	3 Kritikpunkte
Ausbreitmaßklasse F1/F2	6 Kritikpunkte

Bei dem Unterkriterium **„Lieferbeständigkeit“** wird zunächst die größte Abweichung zwischen den einzelnen Ausbreitmaßprüfungen ermittelt und diese anschließend bewertet. Kritikpunkte können ausschließlich gesammelt werden, wenn mindestens eine Einzelprüfung der Klasse F1-F4 zugeordnet werden konnte. Entsprechend werden bei durchgängiger Ausbreitmaßklasse von mindestens F5 oder höher keine Kritikpunkte vergeben. Es werden ebenfalls keine Kritikpunkte vergeben, wenn die Abweichung zwischen den Chargen ≤ 60 mm beträgt. Eine Abweichung zwischen den Chargen von 60 mm bis 120 mm wird mit zwei Kritikpunkten und eine Abweichung zwischen den Chargen von mehr 120 mm mit vier Kritikpunkten bewertet. In der nachfolgenden Tabelle 8 sind die Kritikpunkte für das Unterkriterium „Lieferbeständigkeit" dargestellt.

Tabelle 8 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Lieferbeständigkeit"

Kritikpunkte „Lieferbeständigkeit“	
x ≤ 60 mm Abweichung zwischen den Chargen	0 Kritikpunkte
60 mm < x ≤ 120 mm Abweichung zwischen den Chargen	2 Kritikpunkte
x > 120 mm Abweichung zwischen den Chargen	4 Kritikpunkte

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Das Unterkriterium **„Mischungsstabilität“** wird anhand der Ergebnisse des Drei-Segment-Zylinderversuchs bewertet. Hierbei wird „stabiles Material“ mit null Kritikpunkten und „instabiles Material“ mit 3 Kritikpunkten bewertet (vgl. Tabelle 9). Ein Material wird als instabil bewertet, wenn eine Sedimentationsabweichung von mehr als 10 % vorliegt.

Tabelle 9 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Mischungsstabilität"

Kritikpunkte „Mischungsstabilität“	
Material stabil (Abweichung ≤ 10%)	0 Kritikpunkte
Material instabil (Abweichung > 10%)	3 Kritikpunkte

Für die Bewertung des Unterkriteriums **„Niveaugleiches Füllen“** wird der Materialhöhenunterschied auf der gesamten Oberfläche der Baugrube im IKT-Großversuchsstand ermittelt, indem der tiefste und höchste Punkt mit einem Zollstock gemessen und verglichen werden. So werden bei einem Höhenunterschied von < 17,5 cm keine Kritikpunkte vergeben. Bei einem Höhenunterschied zwischen 17,5 cm und kleiner 35 cm erhält das Material einen Kritikpunkt. Ab einen Höhenunterschied von ≥ 35 cm wird das Material mit drei Kritikpunkten bewertet. In der nachfolgenden Tabelle 10 sind die Kritikpunkte für das Unterkriterium „Niveaugleiches Füllen“ dargestellt.

Tabelle 10 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Niveaugleiches Füllen"

Kritikpunkte „Niveaugleiches Füllen“	
x < 17,5 cm Höhenunterschied	0 Kritikpunkte
17,5 cm ≤ x < 35 cm Höhenunterschied	1 Kritikpunkt
x ≥ 35 cm Höhenunterschied	3 Kritikpunkte

Nach Ermittlung der Kritikpunkte aus den Unterkriterien „Mittlere Konsistenz“, „Lieferbeständigkeit“, Mischungsstabilität“ und „Niveaugleiche Füllen“ gemäß Tabelle 7, Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10 werden die Kritikpunkte aufsummiert und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 11 benotet.

Ein Material wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn 0-1 Kritikpunkt(e) vorliegen. Ab sechs Kritikpunkten wird die Note 5,0 (mangelhaft) vergeben. Dies führt zu einer Abwertung des IKT-Prüfurteils um einen Notenpunkt (1,0). Bei ≥ 12 Kritikpunkten wird die Note 6,0 (ungenügend) vergeben und demzufolge im Lenkungskreis über die grundsätzliche Einsatzfähigkeit des Materials im Kanalbau entschieden (vgl. Abschnitt 5.1). Dazwischenliegende Kritikpunkte werden entsprechend dem Bewertungsschema (vgl. Tabelle 11) benotet.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 11 Bewertungsschema für das Kriterium „Fließfähigkeit"

Bewertung „Fließfähigkeit“ (K.O.-Kriterium) (30 %)	Benotung
0-1 Kritikpunkt(e)	1,0
2-3 Kritikpunkte	2,0
4 Kritikpunkte	3,0
5 Kritikpunkte	4,0
≥ 6 Kritikpunkte	5,0
≥ 12 Kritikpunkte	6,0

Leitungsumschließung

Die „Leitungsumschließung“ wird in drei Unterkriterien „Querleitungen“, „Längsleitungen und Leitungspaket“ sowie „Hauptleitung“ (vgl. Tabelle 12) unterteilt. Für die Bewertung werden die Kritikpunkte der Unterkriterien aufsummiert und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 13 benotet.

Die Bewertungen der Unterkriterien **„Querleitungen“**, **„Längsleitungen und Leitungspaket“** und **„Hauptleitung“** erfolgt auf Basis einer Fotodokumentation durch die Lenkungskreismitglieder nach gutachterlicher Empfehlung des IKT, indem der durch den Flüssigboden (ZFSV) umschlossene Leitungsbereich beim Ausbau hinsichtlich Hohlräume beurteilt wird.

Es werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn „keine Hohlräume vorhanden“ sind. „Statisch irrelevante Hohlräume“ werden mit einem Kritikpunkt und „statisch relevante Hohlräume“ mit zwei Kritikpunkten bewertet (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12 Kritikpunkte für die Unterkriterien „Querleitungen", „Längsleitungen und Leitungspaket“ und „Hauptleitung“

Kritikpunkte „Querleitungen“, „Längsleitungen und Leitungspaket“ und „Hauptleitung“	
Keine Hohlräume vorhanden	0 Kritikpunkte
Statisch irrelevante Hohlräume	1 Kritikpunkt
Statisch relevante Hohlräume	2 Kritikpunkte

Ein Material wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn keine Hohlräume vorhanden sind (0 Kritikpunkte). Ab fünf Kritikpunkten wird die Note 6,0 (ungenügend) vergeben. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend dem Bewertungsschema aus Tabelle 13 linear interpoliert.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 13 Bewertungsschema für das Kriterium „Leitungsumschließung"

Bewertung „Leitungsumschließung“ (20 %)	Note
0 Kritikpunkte	1,0
1 Kritikpunkt	2,0
2 Kritikpunkte	3,0
3 Kritikpunkte	4,0
4 Kritikpunkte	5,0
5-6 Kritikpunkte	6,0

Verfüllen der Verbauspur

Das Kriterium „Verfüllen der Verbauspur“ setzt sich aus drei Unterkriterien zusammen. Für die Bewertung des Kriteriums „Verfüllen der Verbauspur“ werden die Kritikpunkte aus den Unterkriterien „Hohlraumverfüllung“, „Kontakt“ und „Bruchrisiken“ gemäß Tabelle 14, Tabelle 15 und Tabelle 16 gesammelt und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 17 benotet.

Bei dem Unterkriterium **„Hohlraumverfüllung“** wird auf Basis einer Fotodokumentation durch die Lenkungskreismitglieder nach gutachterlicher Empfehlung des IKT das Verfüllen des Hohlraumes hinter dem Verbaukasten mit Flüssigboden (ZFSV) in verschieden Tiefen bewertet. Es werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn „keine Hohlräume vorhanden“ sind. „Statisch irrelevante Hohlräume“ werden mit einem Kritikpunkt und „statisch relevante Hohlräume“ mit zwei Kritikpunkten bewertet (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Hohlraumverfüllung"

Kritikpunkte „Hohlraumverfüllung“	
Keine Hohlräume vorhanden	0 Kritikpunkte
Statisch irrelevante Hohlräume	1 Kritikpunkt
Statisch relevante Hohlräume	3 Kritikpunkte

Bei dem Unterkriterium **„Kontakt“** wird auf Basis einer Fotodokumentation durch die Lenkungskreismitglieder nach gutachterlicher Empfehlung des IKT der Übergangsbereich zwischen dem Flüssigboden (ZFSV) und dem anstehenden Boden in verschiedenen Tiefen im Verbaukasten bewertet.

Es werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn ein „stabilisierender Kontakt“ zwischen dem Flüssigboden (ZFSV) und dem anstehenden Boden erkennbar ist. Sofern der Flüssigboden (ZFSV) mit dem anstehenden Boden „keinen Kontakt eingeht“ bzw. ein „Bodeneinbruch in ZFSV“ erkennbar ist, wird mit zwei bzw. vier Kritikpunkte bewertet (vgl. Tabelle 15).

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 15 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Kontakt"

Kritikpunkte „Kontakt“	
Stabilisierender Kontakt	0 Kritikpunkte
Kein Kontakt eingegangen	2 Kritikpunkte
Bodeneinbruch in ZFSV	4 Kritikpunkte

Bei dem Unterkriterium **„Bruchrisiken“** wird die Oberfläche im unmittelbaren Umgebungsbereich des Verbaukastens während und nach dem Einfüllen des Flüssigbodens (ZFSV) auf Basis einer Fotodokumentation durch die Lenkungskreismitglieder bewertet.

Es werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn ein „Oberflächenbruch nicht erkennbar“ ist. Beobachtete Auffälligkeiten wie „Oberflächenbruch erkennbar“ bzw. „massiver Oberflächenbruch erkennbar“ werden mit einem Kritikpunkt bzw. drei Kritikpunkten bewertet (vgl. Tabelle 16).

Tabelle 16 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Bruchrisiken"

Kritikpunkte „Bruchrisiken“	
Oberflächenbruch nicht erkennbar	0 Kritikpunkte
Oberflächenbruch erkennbar	1 Kritikpunkt
Massiver Oberflächenbruch erkennbar	3 Kritikpunkte

Nach der Ermittlung der Kritikpunkte aus den oben aufgeführten Unterkriterien (vgl. Tabelle 14, Tabelle 15 und Tabelle 16) werden die Kritikpunkte aufsummiert und gemäß Tabelle 17 benotet. Ein Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn null Kritikpunkte vorliegen. Bei vier bis fünf Kritikpunkten wird ein „mangelhaft (5,0)“ und bei sechs bis zehn Kritikpunkten die Note 6,0 (ungenügend) vergeben. Dazwischenliegende Werte werden nach Tabelle 17 interpoliert.

Tabelle 17 Bewertungsschema für das Kriterium „Verfüllen der Verbauspur"

Bewertung „Verfüllen der Verbauspur“ (20 %)	Note
0 Kritikpunkte	1,0
1 Kritikpunkt	2,0
2 Kritikpunkte	3,0
3 Kritikpunkte	4,0
4-5 Kritikpunkte	5,0
6-10 Kritikpunkte	6,0

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Volumenstabilität

Das Kriterium „Volumenstabilität“ setzt sich aus zwei Unterkriterien zusammen. Für die Bewertung des Kriteriums „Volumenstabilität“ werden die Kritikpunkte aus den Unterkriterien „Wasserabsonderung“ und „Volumenänderung“ gemäß Tabelle 18 und Tabelle 19 gesammelt und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 20 benotet.

Das Unterkriterium **„Wasserabsonderung“** wird anhand der Ergebnisse des Absetztestes gemäß DIN EN 445 [8] nach drei Stunden bewertet.

Es werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn nach drei Stunden die Wasserabsonderung unter 0,3 % liegt. Bei einer Wasserabsonderung von > 2,4 % erhält das Material vier Kritikpunkten. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend der Tabelle 18 bewertet.

Tabelle 18 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Wasserabsonderung"

Kritikpunkte „Wasserabsonderung“	
x < 0,3 % nach 3h	0 Kritikpunkte
0,3 % ≤ x ≤ 0,6 % nach 3h	1 Kritikpunkt
0,6 % < x ≤ 1,2 % nach 3h	2 Kritikpunkte
1,2 % < x ≤ 2,4 % nach 3h	3 Kritikpunkte
x > 2,4 % nach 3h	4 Kritikpunkte

Für das Unterkriterium **„Volumenänderung“** werden die Ergebnisse des Absetztestes in Anlehnung an DIN EN 445 [8] zwischen 3h und 24h betrachtet. Falls eine Volumenänderung ≤ 0,3 % vorliegt, wird das Material mit null Kritikpunkten bewertet. Bei der Volumenänderung größer als 0,3 % und kleiner als 1 % werden vier Kritikpunkte vergeben. Ab einer Volumenänderung von mindestens 1 % erhält das Material acht Kritikpunkte (vgl. Tabelle 19).

Tabelle 19 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Volumenänderung"

Bewertung „Volumenänderung“ (50 %)	Kritikpunkte
≤ 0,3 % zwischen 3h und 24h	0 Kritikpunkte
0,3 % < x < 1 % zwischen 3h und 24h	4 Kritikpunkte
≥ 1 % zwischen 3h und 24h	8 Kritikpunkte

Ein Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn null bis ein Kritikpunkt(e) vorliegen. Bei acht bis neun Kritikpunkten wird ein „mangelhaft (5,0)“ und bei zehn bis zwölf Kritikpunkten die Note 6,0 (ungenügend) vergeben. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend Tabelle 20 benotet.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 20 Bewertungsschema für das Kriterium „Volumenstabilität"

Bewertung „Volumenstabilität“ (10 %)	Note
0-1 Kritikpunkt(e)	1,0
2-3 Kritikpunkte	2,0
4-5 Kritikpunkte	3,0
6-7 Kritikpunkte	4,0
8-9 Kritikpunkte	5,0
10-12 Kritikpunkte	6,0

Begehbarkeit

Das Kriterium „**Begehbarkeit**“ wird bewertet, indem eine „IKT-Begehbarkeitsprüfung“ im Intervall von 30 Minuten durchgeführt wird. Ein Flüssigboden (ZFSV) gilt als begehbar, wenn innerhalb der Prüfzeit von einer Minute die maximale Einsinktiefe von einem Zentimeter mit einem Gewicht von 85 kg nicht überschritten wird. Die angegebene „Begehungszeit“ startet bei Befüllung des Fahrzeugmischers gemäß Lieferschein im Mischwerk.

Ein Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn eine Begehung innerhalb von vier Stunden möglich ist. Ab einer Begehbarkeit des Flüssigbodens (ZFSV) nach 24 Stunden wird die Note 6,0 (ungenügend) vergeben. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend Tabelle 21 benotet.

Tabelle 21 Bewertungsschema für das Kriterium „Begehbarkeit"

Bewertung „Begehbarkeit“ (20 %)	Note
Begehbar ≤ 4h nach Mischerbefüllung	1,0
Begehbar 4h < x ≤ 6,5h nach Mischerbefüllung	2,0
Begehbar 6,5h < x ≤ 9h nach Mischerbefüllung	3,0
Begehbar 9h < x ≤ 12h nach Mischerbefüllung	4,0
Begehbar 12h < x ≤ 24h nach Mischerbefüllung	5,0
Begehbar > 24h nach Mischerbefüllung	6,0

5.2.2 Nutzungsphase

Das Kriterium **„**Nutzungsphase**“** wird anhand von vier Kriterien mit insgesamt 30 % bewertet. Diese Kriterien sind die „Überbaubarkeit“ (K.O.-Kriterien) (40 %), das „Setzungsrisiko“ (25 %), die „Bettungseigenschaften“ (30 %) und der „Wurzelschutz“ (5 %).

Das Bewertungsschema mit den jeweiligen Gewichtungen für das Kriterium „Nutzungsphase“ ist in Tabelle 22 dargestellt.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 22 Bewertungsschema für das Kriterium „Nutzungsphase"

Nutzungsphase (30 %)	Bewertung
Überbaubarkeit (K.O.-Kriterium) (40 %)	Von „sehr gut (1,0)“ bis „ungenügend (6,0)“
Setzungsrisiko (25 %)	
Bettungseigenschaften (30 %) ▪ Rohrverformung ▪ Bettungskontinuität	
Wurzelschutz (5 %) ▪ Durchlässigkeit ▪ Oberflächeneigenschaften	

Nachfolgend werden die vier Kriterien mit den jeweiligen Unterkriterien detailliert erläutert.

Überbaubarkeit (K.O.-Kriterium)

Für die Bewertung des K.O.-Kriteriums „Überbaubarkeit“ werden statische Plattendruckversuche nach 7, 14, 28 und 56 Tagen durchgeführt (DIN 18134 [6]). Zusätzlich wird der E_{v2}-Wert nach 21 Tagen durch Interpolation ermittelt.

Ein Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn ein E_{v2}-Wert von mindestens 45 MN/m² nach 7 Tagen erreicht wird. Bei Erreichen des E_{v2}-Wertes nach 56 Tagen wird die Note 5,0 (mangelhaft) vergeben. Dies führt zu einer Abwertung des IKT-Prüfurteils von einem Notenpunkt (1,0). Bei Unterschreitung des E_{v2}-Wertes von 45 MN/m² nach 56 Tagen wird das Material mit der Note 6,0 (ungenügend) bewertet. Demzufolge wird dann im Lenkungskreis über die grundsätzliche Einsatzfähigkeit des Flüssigboden (ZFSV) entschieden (vgl. Abschnitt 5.1). Dazwischenliegende Werte werden entsprechend Tabelle 23 benotet.

Tabelle 23 Bewertungsschema für das Kriterium „Überbaubarkeit"

Bewertung „Überbaubarkeit“ (K.O.-Kriterium) (40 %)	Note
$E_{v2} \geq 45$MN/m² nach 7 Tagen	1,0
$E_{v2} \geq 45$MN/m² nach 14 Tagen	2,0
$E_{v2} \geq 45$MN/m² nach 21 Tagen	3,0
$E_{v2} \geq 45$MN/m² nach 28 Tagen	4,0
$E_{v2} \geq 45$MN/m² nach 56 Tagen	5,0
$E_{v2} < 45$MN/m² nach 56 Tagen	6,0

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Setzungsrisiko

Das Kriterium „Setzungsrisiko“ wird auf Basis der Endschwindmaßprüfung in Anlehnung an Arbeitsblatt DWA-A 139 [9] im Beobachtungszeitraum vom siebten bis zum 112 Tag bewertet.

Ein Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn das Endschwindmaß unter 0,1 % liegt. Bei einem Endschwindmaß zwischen 0,2 % und 0,3 % erhält der Flüssigboden (ZFSV) die Note 5,0 (mangelhaft). Ab einem Endschwindmaß > 0,3 % wird die Note 6,0 (ungenügend) vergeben. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend Tabelle 24 benotet.

Tabelle 24 Bewertungsschema für das Kriterium „Setzungsrisiko"

Bewertung „Setzungsrisiko“ (25 %)	Note
Endschwindmaß < 0,1 %	1,0
Endschwindmaß zwischen 0,1 % ≤ x < 0,13 %	2,0
Endschwindmaß zwischen 0,13 % ≤ x < 0,17 %	3,0
Endschwindmaß zwischen 0,17 % ≤ x < 0,2 %	4,0
Endschwindmaß zwischen 0,2 % ≤ x ≤ 0,3 %	5,0
Endschwindmaß > 0,3 %	6,0

Bettungseigenschaften

Das Kriterium „Bettungseigenschaften“ setzt sich aus den zwei Unterkriterien „Rohrverformung (Querrichtung)“ und „Bettungskontinuität (Längsrichtung)“ zusammen. Für die Bewertung wird bei dem Unterkriterium „Rohrverformung“ eine Note ermittelt, die anschließend durch das Ergebnis des Unterkriteriums „Bettungskontinuität“ noch abgewertet werden kann.

Der Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn die **Rohrverformung** nicht größer als zwei Prozent ist. Bei einer Rohrverformung zwischen sechs und zehn Prozent wird ein „mangelhaft (5,0)“ vergeben. Ab einer Rohrverformung über zehn Prozent erhält das Material die Note 6,0 (ungenügend) (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25 Bewertungsschema für das Unterkriterium „Rohrverformung"

Bewertung „Rohrverformung“	Note
x ≤ 2 % Rohrverformung	1,0
2 % < x ≤ 3 % Rohrverformung	2,0
3 % < x ≤ 4 % Rohrverformung	3,0
4 % < x ≤ 6 % Rohrverformung	4,0
6 % < x ≤ 10 % Rohrverformung	5,0
x > 10 % Rohrverformung	6,0

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Das Unterkriterium **„Bettungskontinuität“** wurde mittels Mini-MAC-System ermittelt und von einem IKT-Gutachter bewertet.

Es wird keine Abwertung vorgenommen, wenn eine „gleichmäßige Bettung“ vorliegt. Bei einer „ungleichmäßigen Bettung“ wird eine gutachterliche Bewertung vorgenommen, die zu einer Abwertung von 0,1 bis 1,0 Notenpunkte je nach Bettungsausprägung führt (vgl. Tabelle 26).

Tabelle 26 Bewertungsschema für das Unterkriterium „Bettungskontinuität"

Bewertung „Bettungskontinuität“	Abwertung
Gleichmäßige Bettung	Keine Abwertung
Ungleichmäßige Bettung	Abwertung von 0,1 bis 1,0 (gutachterliche Bewertung)

Wurzelschutz

Das Kriterium „Wurzelschutz“ setzt sich aus den Unterkriterien „Durchlässigkeit“, „Oberflächeneigenschaften“ und „Pflanzversuch“ zusammen. Für die Bewertung des Kriteriums „Wurzelschutz“ werden die Kritikpunkte aus den Unterkriterien „Durchlässigkeit“, „Oberflächeneigenschaften“ und „Pflanzversuch“ gemäß Tabelle 27, Tabelle 28 und Tabelle 29 gesammelt und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 30 benotet.

Das Unterkriterium **„Durchlässigkeit“** wird anhand des Ergebnisses der Wasserdurchlässigkeitsprüfung nach DIN 18130-1 [7] bewertet. Hierbei werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn der Wert unter 10^{-5} m/s liegt. Ein Kritikpunkt wird bei einer Durchlässigkeit von über 10^{-5} m/s vergeben (vgl. Tabelle 27).

Tabelle 27 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Durchlässigkeit“

Bewertung „Durchlässigkeit“	Kritikpunkte
bis 10^{-5} m/s	0 Kritikpunkte
über 10^{-5} m/s	1 Kritikpunkt

Das Unterkriterium **„Oberflächeneigenschaften“** wurde durch eine Inaugenscheinnahme des Flüssigbodens (ZFSV) hinsichtlich Auffälligkeiten, wie z.B. Risse, auf der gesamten Oberfläche der Baugrube im IKT-Großversuchsstand durch einen IKT-Gutachter bewertet.

Es werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn „keine Oberflächenauffälligkeiten“ erkennbar sind. Bei „erkennbaren Oberflächenauffälligkeiten“ wird ein Kritikpunkt vergeben (vgl. Tabelle 28).

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 28 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Oberflächeneigenschaften“

Bewertung „Oberflächeneigenschaften“	Kritikpunkte (gutachterliche Bewertung)
Keine Oberflächenauffälligkeiten	0 Kritikpunkte
Oberflächenauffälligkeiten erkennbar	1 Kritikpunkt

Das Unterkriterium **„Pflanzversuch“** (Plausibilitätsprüfung) wurde durch eine Inaugenscheinnahme des Flüssigbodens (ZFSV) im Pflanzversuch hinsichtlich Wurzeleinwuchs durch einen IKT-Gutachter bewertet. Dabei wurde eine Pflanze (Ilex) in einem Kübel mit Baumsubstrat (ca. 22 cm) und Flüssigboden (ZFSV) (ca. 12 cm) für eine Wachstumsperiode (ca. ein Jahr) eingepflanzt.

Es werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn „kein Wurzeleinwuchs“ erkennbar ist. Bei „erkennbarem Wurzeleinwuchs“ wird ein Kritikpunkt vergeben (vgl. Tabelle 29).

Tabelle 29 Kritikpunkte für das Unterkriterium „Wurzeleinwuchs“

Bewertung „Pflanzversuch“	Kritikpunkte (gutachterliche Bewertung)
Kein Wurzeleinwuchs	0 Kritikpunkte
Wurzeleinwuchs erkennbar	1 Kritikpunkt

Ein Material wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn keine Kritikpunkte vorliegen (Beitrag zum Wurzelschutz, keine Einwuchsrisiken beobachtet). Bei einem Kritikpunkt wird die Note 3,0 (Beitrag zum Wurzelschutz mit Risiken, einzelne Einwuchsrisiken beobachtet) und ab zwei Kritikpunkten die Note 5,0 (Kein nennenswerter Beitrag zum Wurzelschutz, durchweg Einwuchsrisiken beobachtet) vergeben (vgl. Tabelle 30).

Tabelle 30 Bewertungsschema für das Kriterium „Wurzelschutz"

Bewertung „Wurzelschutz“	Note
0 Kritikpunkte	1,0 Beitrag zum Wurzelschutz, keine Einwuchsrisiken beobachtet
1 Kritikpunkt	3,0 Beitrag zum Wurzelschutz mit Risiken, einzelne Einwuchsrisiken beobachtet
2-3 Kritikpunkte	5,0 Kein nennenswerter Beitrag zum Wurzelschutz, durchweg Einwuchsrisiken beobachtet

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

5.2.3 Entsorgungsphase

Das Kriterium „Entsorgungsphase“ wird anhand von zwei K.O-Kriterien „Wiederaushubfähigkeit“ (80 %) und die „Wiederverwertung“ (20 %) mit insgesamt 30 % bewertet.

Das Bewertungsschema mit den jeweiligen Gewichtungen für das Kriterium „Entsorgungsphase ist in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31 Bewertungsschema für das Kriterium „Entsorgungsphase“

Entsorgungsphase (30 %)	Bewertung
Wiederaushubfähigkeit (K.O.-Kriterium) (80 %) ▪ Lösbarkeit nach 56d (35 %) ▪ Druckfestigkeit nach 28d (30 %) ▪ Nacherhärtung (30 %) ▪ 50-Jahre-Prognose (5 %)	Von „sehr gut (1,0)“ bis „ungenügend (6,0)“
Wiederverwertung (K.O.-Kriterium) (20 %) ▪ Eluatuntersuchung ▪ Wasserqualität	

Nachfolgend werden die zwei Kriterien mit den jeweiligen Unterkriterien detailliert erläutert.

Wiederaushubfähigkeit (K.O.-Kriterium)
Das K.O.-Kriterium „Wiederaushubfähigkeit“ setzt sich aus vier Unterkriterien zusammen und wird mit insgesamt 80 % gewichtet. Für die Bewertung des Kriteriums „Wiederaushubfähigkeit“ werden die Unterkriterien „Lösbarkeit nach 56d“ (35 %), „Druckfestigkeit nach 28d“ (30 %), „Nacherhärtung“ (30 %) und die „50-Jahre-Prognose“ (5 %) gemäß Tabelle 32, Tabelle 33, Tabelle 34 und Tabelle 35 benotet. Das Bewertungsschema der zwei Unterkriterien „Druckfestigkeit nach 28d“ und „Nacherhärtung“ wurde in Anlehnung an das FGSV Merkblatt H ZFSV [10] erstellt. Da es sich hierbei um ein K.O-Kriterium handelt, erfolgt eine Abwertung von einem Notenpunkt (1,0) beim IKT- Prüfurteil (Gesamtnote), wenn dieses Kriterium mit einem „mangelhaft 5,0“ bewertet wird. Wenn ein „ungenügend 6,0“ bei einem Unterkriterium vergeben wird, dann wird im Lenkungskreis über eine grundsätzliche Einsatzfähigkeit des Materials im Kanalbau entschieden (vgl. Abschnitt 5.1).

Bei dem Unterkriterium **„Lösbarkeit nach 56d“** wird die Lösbarkeit der eingebauten Flüssigböden (ZFSV) in Kombinationen mit dem dafür erforderlichen Kraftaufwand durch die am IKT-Warentest beteiligten Lenkungskreismitglieder mittels Normspaten beurteilt. Bei der Bewertung wird zwischen „sehr leicht & mit geringem Kraftaufwand lösbar“, „leicht und mit normalem Kraftaufwand lösbar, „mit mäßigem Kraftaufwand lösbar“, „mit großem Kraftaufwand gerade noch lösbar“, „mit großem Kraftaufwand nicht mehr lösbar“ und „nicht lösbar mit leichtem Gerät (Minibagger)“ unterschieden (vgl. Tabelle 32).

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Für jeden eingebauten Flüssigboden (ZFSV) werden Noten zwischen 1,0 (sehr gut) bis 6,0 (ungenügend) vergeben. Die Bewertungsergebnisse der beteiligten Netzbetreiber werden arithmetisch zu einem Gesamtergebnis gemittelt.

Tabelle 32 Bewertungsschema für das Unterkriterium „Lösbarkeit nach 56d“

Bewertung „Lösbarkeit nach 56d“ (35 %)	Note
Sehr leicht & mit geringem Kraftaufwand lösbar	1,0
Leicht und mit normalem Kraftaufwand lösbar	2,0
Mit mäßigem Kraftaufwand lösbar	3,0
Mit großem Kraftaufwand gerade noch lösbar	4,0
Mit großem Kraftaufwand nicht mehr lösbar	5,0
Nicht lösbar mit leichtem Gerät (Minibagger)	6,0

Bei dem Unterkriterium **„Druckfestigkeit nach 28d“** wird der Mittelwert aus drei Würfeldruckprüfungen nach 28 Tagen für die Bewertung ermittelt.

Ein Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn der f_c Wert unter 0,15 N/mm² liegt. Bei einem f_c Wert zwischen 0,3 N/mm² und 0,50 N/mm² nach 28 Tagen wird ein „mangelhaft (5,0)“ vergeben. Das Material erhält die Note 6,0 (ungenügend), wenn ein Mittelwert von ≥ 0,5 N/mm² bei einer Würfeldruckprüfung nach 28 Tagen ermittelt wird. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend Tabelle 33 benotet.

Tabelle 33 Bewertungsschema für das Unterkriterium „Druckfestigkeit“

Bewertung „Druckfestigkeit nach 28d“ (30 %)	Note
f_c < 0,15 N/mm² nach 28d	1,0
0,15 N/mm² nach 28d ≤ f_c < 0,20 N/mm² nach 28d	2,0
0,20 N/mm² nach 28d ≤ f_c < 0,25 N/mm² nach 28d	3,0
0,25 N/mm² nach 28d ≤ f_c < 0,30 N/mm² nach 28d	4,0
0,30 N/mm² nach 28d ≤ f_c < 0,50 N/mm² nach 28d	5,0
f_c ≥ 0,50 N/mm² nach 28d	6,0

Das Unterkriterium **„Nacherhärtung“** wird aus den Mittelwerten der drei Würfeldruckfestigkeiten jeweils nach 7 Tagen und nach 56 Tagen bewertet.

Ein Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „sehr gut (1,0)“bewertet, wenn der ermittelte $f_{z(7\text{-}56d)}$-Wert unter 0,05 N/mm² liegt. Bei einem $f_{z(7\text{-}56d)}$-Wert zwischen 0,15 N/mm² und 0,30 N/mm² wird ein „mangelhaft (5,0)“ vergeben. Das Material erhält die Note 6,0, wenn ein Mittelwert von > 0,3 N/mm² ermittelt wurde. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend Tabelle 34 benotet.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 34 Bewertungsschema für das Unterkriterium „Nacherhärtung“

Bewertung „Nacherhärtung“ (30 %)	Note
$f_{z(7\text{-}56d)} < 0{,}05$ N/mm²	1,0
$0{,}05 \text{ N/mm²} \leq f_{z(7\text{-}56d)} < 0{,}08 \text{ N/mm²}$	2,0
$0{,}08 \text{ N/mm²} \leq f_{z(7\text{-}56d)} < 0{,}12 \text{ N/mm²}$	3,0
$0{,}12 \text{ N/mm²} \leq f_{z(7\text{-}56d)} < 0{,}15 \text{ N/mm²}$	4,0
$0{,}15 \text{ N/mm²} \leq f_{z(7\text{-}56d)} \leq 0{,}30 \text{ N/mm²}$	5,0
$f_{z(7\text{-}56d)} > 0{,}30$ N/mm²	6,0

Das Unterkriterium **„50-Jahre-Prognose“** wird durch eine lineare Prognose aus Mittelwerten der drei Würfeldruckfestigkeiten jeweils nach 7 Tagen, 14 Tagen, 28 Tagen, 56 Tagen und 112 Tagen bewertet. Im Ergebnis wird durch eine Berechnung ermittelt, welche Materialdruckfestigkeiten in 50 Jahren zu erwarten sind.

Ein Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn der f_c-Wert unter 0,30 N/mm² liegt. Bei einem f_c-Wert zwischen 0,80 N/mm² und 1,00 N/mm² wird ein „mangelhaft (5,0)“ vergeben. Das Material erhält die Note 6,0, wenn ein Mittelwert von ≥ 1,00 N/mm² ermittelt wurde. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend Tabelle 35 benotet.

Tabelle 35 Bewertungsschema für das Unterkriterium „50-Jahre-Prognose“

Bewertung „50-Jahre-Prognose“ (30 %)	Note
$f_c < 0{,}30$ N/mm² nach 50 Jahren	1,0
$0{,}30 \text{ N/mm²} \leq f_c < 0{,}45 \text{ N/mm²}$ nach 50 Jahren	2,0
$0{,}45 \text{ N/mm²} \leq f_c < 0{,}60 \text{ N/mm²}$ nach 50 Jahren	3,0
$0{,}60 \text{ N/mm²} \leq f_c < 0{,}80 \text{ N/mm²}$ nach 50 Jahren	4,0
$0{,}80 \text{ N/mm²} \leq f_c < 1{,}00 \text{ N/mm²}$ nach 50 Jahren	5,0
$f_c \geq 1{,}00$ N/mm² nach 50 Jahren	6,0

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Wiederverwertung (K.O.-Kriterium)
Das Kriterium „Wiederverwertung“ setzt sich aus den Unterkriterien „Eluatuntersuchung“ und „Wasserqualität“ zusammen. Für die Bewertung wird bei dem Unterkriterium „Eluatuntersuchung“ eine Note ermittelt, die anschließend durch das Ergebnis des Unterkriteriums „Wasserqualität“ noch aufgewertet werden kann.

Das Unterkriterium **„Eluatuntersuchung“** wird in Anlehnung an die LAGA M20 [11] im Eluat bewertet, wobei der schlechteste Untersuchungswert für die Zuordnung entscheidend ist.

Der Flüssigboden (ZFSV) wird mit der Note „gut (2,0)“ bewertet, wenn die Eluatparameter den Zuordnungswerten Z0/Z0* zugeordnet werden können. Bei einer Zuordnung in die Deponieklassen null bis eins (Zuordnungswert DK 0-1) wird ein „mangelhaft (5,0)“ vergeben. Dies führt zu einer Abwertung des IKT-Prüfurteils von einem Notenpunkt (1,0). Bei einem Zuordnungswert DK 2-3 wird der Flüssigboden (ZFSV) mit der Note 6,0 (ungenügend) bewertet. Entsprechend wird dann im Lenkungskreis über die grundsätzliche Einsatzfähigkeit des Materials im Kanalbau entschieden. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend dem Bewertungsschema (vgl. Tabelle 36) benotet.

Tabelle 36 Bewertungsschema für das Unterkriterium „Eluatuntersuchung“

Bewertung „Eluatuntersuchung“	Note
E ≤ Zuordnungswert Z0/ Z0*	2,0
E ≤ Zuordnungswert Z1.1/ Z1.2	3,0
E ≤ Zuordnungswert Z2	4,0
E ≤ Zuordnungswert DK 0-1	5,0
E ≤ Zuordnungswert DK 2-3	6,0

Für das Unterkriterium **„Wasserqualität“** wurde eine Wasserprobe (Überschusswasser) auf die in LAGA M20 [11] aufgeführten Parameter untersucht.

Eine Aufwertung um 1,0 Notenpunkte wird durchgeführt, wenn keine Auffälligkeiten bei den Ergebnissen der Wasserprobenuntersuchung vorhanden sind (vgl. Tabelle 37). Sofern Auffälligkeiten zu verzeichnen sind, die sich nicht auf die Zugabe zementgebundener Zusatzstoffe zurückführen lassen, werden diese als „besondere Auffälligkeit“ im Kriterium Qualitätssicherung bewertet (vgl. Abschnitt 5.3).

Tabelle 37 Bewertungsschema für das Unterkriterium „Wasserqualität“

Bewertung „Wasserqualität“
Überschusswasseruntersuchung ohne Auffälligkeiten – 1,0 Notenaufwertung

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Zusätzlich zu den beschriebenen Prüfungen werden als „**Zusatzinformationen“** die nachstehend aufgelisteten Punkte in die Gesamtbewertung (ohne Benotung) einbezogen:

- pH-Wert Material (Einbau)
- Viskowaage (Mittlere Scherfestigkeit 1./ 2. Tag)
- Zeitbedarf für den Einbau
- Mischwerk
- Entfernung Mischwerk zum IKT [km]
- Anzahl der Lieferungen (insgesamt 50 m³)
- Materialkosten [EUR/m³]
- Pumpkosten [EUR/m³]
- Prüfkosten [EUR]
- Entsorgungskosten [EUR/t]

5.3 Qualitätssicherung

Im Bewertungspunkt „Qualitätssicherung“ wird untersucht, inwieweit der Anbieter die Qualität seines Produktes überwacht bzw. Maßnahmen zur Qualitätssicherung nachweist.

Zu den folgenden Kriterien, die jeweils mit 20 % gewichtet werden, wurden von den Anbietern Unterlagen angefordert und ausgewertet:

- Übergabe eines vollständig und korrekt ausgefüllten **„Lieferscheins“** (20 %)
- Nachweise der „**Eigenüberwachung“** sind erfüllt, wenn ein Eigenüberwachungskonzept und die Eigenüberwachungsprüfergebnisse des beim IKT-Warentest eingesetzten Materials im frischen und festen Zustand vorliegen (20 %)
- Nachweis eines gültigen „**Qualitätszeichen“** (20 %)
- **„Schulungen“** des Herstellers für den Anwender und das Mischwerk, sowie ein Schulungsnachweis für das am IKT-Warentest teilnehmende Mischwerk (20 %)

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Ergänzend wird auch das Kriterium **„Besondere Auffälligkeiten“ (K.O.-Kriterium)** (20 %) bei der Qualitätssicherung bewertet. Dies gilt als bestanden (+), sofern im Zuge der üblichen Begleitung durch das IKT in den durchgeführten Laboruntersuchungen keine zu beanstandenden Besonderheiten beobachtet wurden. Wurden Besonderheiten beobachtet, die aus Sicht des Lenkungskreises als kritisch bewertet werden, wird im Lenkungskreis darüber hinaus über die **grundsätzliche Einsatzfähigkeit** des Materials im Kanalbau entschieden.

Der Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung“ geht insgesamt zu 15 % in das jeweilige Prüfurteil ein. In den Bewertungsschwerpunkt fließen die fünf oben aufgeführten Prüfkriterien ein.

Die Kriterien werden mit „+/-“ (nachgewiesen/ nicht nachgewiesen) bzw. „+/o/-“ (nachgewiesen/ teilweise nachgewiesen/ nicht nachgewiesen) bewertet und fließen mit je 20 % in die Note für den Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung“ ein. Für die Kriterien „Lieferschein“, „Eigenüberwachung“ und „Schulungen“ werden jeweils Unterkriterien bewertet (vgl. Tabelle 38). Entsprechend werden dazwischen liegende Kritikpunkte gemäß Bewertungsschema linear interpoliert. In Tabelle 38 ist das Bewertungsschema und auf Bild 9 die lineare Funktion für das Kriterium „Qualitätssicherung“ dargestellt.

Tabelle 38 Bewertungsschema für das Kriterium „Qualitätssicherung“

Kriterien	Bewertung	Gewichtung
▪ Lieferschein (20 %) ▪ Kennzeichen des Lieferfahrzeuges ▪ Name und Adresse des Herstellers/Lieferanten ▪ Name des Produktes, Sorten-Nr. ▪ Konsistenz (z.B.plastisch, fließfähig) ▪ Kunden- und Baustellenbezeichnung ▪ Lieferscheinnummer ▪ Menge (Volumen) ▪ Herstellungsdatum und -uhrzeit ▪ Uhrzeit der Übergabe des Flüssigbodens (ZFSV) ▪ Unterschriftenfelder ▪ Regelung für die Wasserzugabe vor Ort ▪ Zusammensetzung	+ / o / -	20 %
▪ Eigenüberwachung (20 %) ▪ Eigenüberwachungskonzept ▪ Eigenüberwachung (IKT-Warentest): Im frischen Zustand ▪ Eigenüberwachung (IKT-Warentest): Im festen Zustand	+ / o / -	20 %
▪ Qualitätszeichen (20 %)	+ / -	20 %
▪ Schulungen (20 %) ▪ Schulungskonzept für Anwender ▪ Schulungskonzept für das Mischwerk ▪ Schulungsnachweis Mischwerk (IKT-Warentest)	+ / o / -	20 %
▪ Besondere Auffälligkeiten (K.O.-Kriterium) (20 %)	+ / -	20 %

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

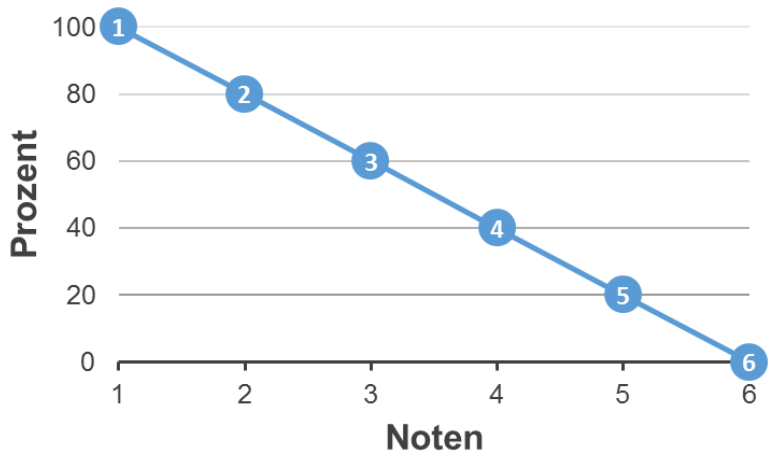

Bild 9 Lineare Funktion zur Bewertung des Kriteriums „Qualitätssicherung“

5.4 Versuchsfeld Burscheid und Baustellenuntersuchungen

Das Versuchsfeld in Burscheid und die Baustellenuntersuchungen dienten der Erfassung der grundsätzlichen Handhabbarkeit der Materialien unter Praxisbedingungen. Eine detaillierte Darstellung findet sich in [1]. Im Zuge des IKT-Warentests wurde durch das Versuchsfeld in Burscheid und die Baustellenuntersuchungen die Plausibilität der Einsätze in den IKT-Versuchsständen überprüft.

Darüber hinaus werden das Versuchsfeld in Burscheid und die Baustellenuntersuchungen in die Bewertung der „Qualitätssicherung“ beim Kriterium „Besondere Auffälligkeiten“ miteinbezogen. Im vorliegenden Fall wurden bei keinem Material zu beanstandende Besonderheiten beobachtet.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

6 Testergebnisse

6.1 Testtabelle

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der „Systemprüfungen“ und „Qualitätssicherung“ und die gebildeten Prüfurteile zusammen. Zudem wurden als Zusatzinformationen das Messen des pH-Wertes vom Material beim Einbau, die Werte der Viskowaage für den Verbauzug, der Zeitbedarf für den Einbau, das verwendete Mischwerk, die Entfernung vom Mischwerk zum IKT, die Anzahl der Lieferungen und die Kosten für das Material, die Pumpen, weitere Prüfungen und die Entsorgung angegeben.

Das Gesamtergebnis des IKT-Warentests „Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau“ bestätigt, dass grundsätzlich mit Flüssigboden (ZFSV) ein gutes Ergebnis erzielt werden kann. Allerdings zeigte der Test auch, dass die Qualität zwischen den einzelnen Flüssigböden (ZFSV) Unterschiede aufweist. Es wurden Noten von „GUT“ bis „UNGENÜGEND“ vergeben.

Das beste Ergebnis hat der Flüssigboden (ZFSV) „carbofill®“ mit der Note GUT (1,9) erzielt, dicht gefolgt von „RSS® Flüssigboden“ mit der Note GUT (1,9) (ungerundete Werte maßgebend). Der Flüssigboden (ZFSV) „TerraFlow®“ erhielt die Note BEFRIEDIGEND (3,4). Die Flüssigböden (ZFSV) „Terrapact©“ und „WBM-Flüssigboden®“ wurden demgegenüber durch den Lenkungskreis aus unterschiedlichen Gründen „als nicht im Kanalbau einsetzbar“ bewertet; im Ergebnis wurde hier daher das IKT-Prüfurteil „UNGENÜGEND (6,0)“ vergeben.

Das in der Tabelle dargestellte IKT-Warentest-Siegel „Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau“ kann auf Wunsch des Anbieters mit der eigenen Testnote an diesen verliehen werden.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

IKT-Warentest „Flüssigböden (ZFSV[1]) im Kanalbau“

System[7]			carbofill®	RSS® Flüssigboden	TerraFlow®	Terrapact©	WBM-Flüssigboden®
Hersteller			Thomas Zement GmbH & Co. KG	FiFB GmbH	Heidelberger Beton GmbH	Holcim Beton und Betonwaren GmbH	WBM-Flüssigboden GmbH
IKT - Prüfurteil*			**GUT 1,9**	**GUT 1,9**	**BEFRIEDIGEND 3,4**	**UNGENÜGEND 6,0**	**UNGENÜGEND 6,0**
für K.O.-Kriterien gilt: **- 1x MANGELHAFT: Gesamtnote-Abwertung um 1,0** **- 1x UNGENÜGEND: Gesamtnote = 6,0[2]**			-	-	**Wiederaushubfähigkeit MANGELHAFT**	**Wiederaushubfähigkeit UNGENÜGEND Im Kanalbau nicht einsetzbar!**	**Überbaubarkeit MANGELHAFT, Wiederverwertung MANGELHAFT und Arbeitssicherheitsrisiko Im Kanalbau nicht einsetzbar!**
Systemprüfungen		**85%**	**1,9**	**1,9**	**2,4**	**Nicht bewertbar[6]**	**2,8**
Einbauphase		**40%**	**2,1**	**2,4**	**1,8**	**Nicht bewertbar[6]**	**2,6**
Fließfähigkeit (K.O.-Kriterium[3])	30%		2,0	2,0	2,0	3,0	3,0
Leitungsumschließung	20%		1,0	3,0	2,0	Nicht bewertbar[6]	1,0
Verfüllen der Verbauspur	20%		1,0	4,0[5]	1,0	4,0[5]	1,0
Volumenstabilität	10%		1,0	2,0	2,0	2,0	1,0
Begehbarkeit	20%		5,0	1,0	2,0	2,0	6,0
Nutzungsphase		**30%**	**1,1**	**1,1**	**1,1**	**Nicht bewertbar[6]**	**4,0**
Überbaubarkeit (K.O.-Kriterium[3])	40%		1,0	1,0	1,0	1,0	5,0[c]
Setzungsrisiko	25%		1,0	1,0	1,0	1,0	6,0
Bettungseigenschaften	30%		1,0	1,0	1,0	Nicht bewertbar[6]	1,0
Wurzelschutz	5%		3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Entsorgungsphase		**30%**	**2,3**	**2,0**	**4,5**	**5,4**	**1,8**
Wiederaushubfähigkeit (K.O.-Kriterium[3])	80%		2,1	1,7	4,8[a]	6,0[b]	1,0
Wiederverwertung (K.O.-Kriterium[3])	20%		3,0	3,0	3,0	3,0	5,0[c]
Qualitätssicherung[4]		**15%**	**2,0**	**2,0**	**2,5**	**2,5**	**4,5**
Lieferschein vollständig und korrekt		20%	+	+	o	o	o
Eigenüberwachung		20%	+	+	+	+	-
Qualitätszeichen		20%	+	+	+	+	+
Schulungen		20%	-	+	+	-	-
Besondere Auffälligkeiten (K.O.-Kriterium)		20%	Keine (+)	Ausschluss Gewährleistung (Wasserzugabe) (-)	Zu wenig Material geliefert (-)	Keine (+)	Arbeitssicherheitsrisiko Ammoniak (MAK-Wert überschritten), Materialklumpen, erhöhter Cyanidanteil (-)
Zusatzinformationen (nicht Teil der Benotung)							
pH-Wert Material (Einbau)			12,7	13,2	12,6	12,8	12,9
Viskowaage (Mittlere Scherfestigkeit 1./ 2. Tag)			0,281 kPa/ 0,242 kPa	0,302 kPa/ 0,334 kPa	0,290 kPa/ 0,340 kPa	0,303 kPa/ 0,300 kPa	0,264 kPa/ 0,322 kPa
Zeitbedarf für den Einbau			15 min pro Mischer	15 min pro Mischer	15 min pro Mischer	15 min pro Mischer	15 min pro Mischer
Mischwerk			Transportbeton Ennepe Ruhr	Phoenix Beton GmbH Gelsenkirchen	Heidelberger Beton Werk RE	Holcim Beton und Betonwaren GmbH Herne	Klösters Essen GmbH
Entfernung Mischwerk zum IKT			50 min / 33 km	35 min / 5 km	55 min / 22 km	40 min / 14 km	55 min / 18 km
Anzahl der Lieferungen (insgesamt 50m³)			8	8	8	7	6
Materialkosten [EUR/m³]			186	139	68	89	104
Pumpkosten [EUR/m³]			30	99	16	21	30
Prüfkosten (Eigenüberwachung) [EUR]			0	3.384	0	0	1.505
Entsorgungskosten [EUR/t]			35	35	35	35	85

Abwertung wegen K.O.-Kriterien

a TerraFlow®: Note 5,0 in den drei Unterkategorien des K.O.-Kriteriums „Wiederaushubfähigkeit“: Druckfestigkeit nach 28 Tagen, Nacherhärtung, 50-Jahre-Prognose

b Terrapact©: Nicht als Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau einsetzbar wegen Note 6,0 in allen Unterkategorien des K.O.-Kriteriums „Wiederaushubfähigkeit“: Lösbarkeit, Druckfestigkeit nach 28 Tagen, Nacherhärtung, 50-Jahre-Prognose

c WBM-Flüssigboden®: Note 5,0 im K.O.-Kriterium „Überbaubarkeit“ wegen Überbaubarkeit nach mehr als 28 Tagen (statt geforderten 28 Tagen), Note 5,0 im K.O.-Kriterium „Wiederverwertung“ wegen Zuordnung des Materials in die Deponieklasse 1 (DK 1)

1 ZFSV = Zeitweise fließfähiger selbstverdichtender Verfüllbaustoff
2 6,0 Bewertung nach Diskussion im Lenkungskreis beschlossen.
3 K.O.-Kriterium: Bei Note 6,0 nicht einsetzbar als Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau
4 Bewertung: „+“ = nachgewiesen, „o“ = teilweise nachgewiesen, „-“ = nicht nachgewiesen
5 Massiver Oberflächeneinbruch erkennbar
6 Prüfung der Leitungsumschließung konnte aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit nicht durchgeführt werden.
7 Es wurden ausschließlich pumpfähige Materialien eingesetzt.

Bewertungsschlüssel der Prüfergebnisse: Sehr Gut = 1,0 - 1,5. Gut = 1,6 - 2,5. Befriedigend = 2,6 - 3,5. Ausreichend = 3,6 - 4,5. Mangelhaft = 4,6 - 5,5. Ungenügend = 5,6 - 6,0.

* Notenberechnung und Rangfolge auf Basis ungerundeter Werte

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2 Systemprüfungen

Die Ergebnisse aus den Systemprüfungen gehen mit 85 % in das jeweilige Prüfurteil ein und wurden mit Noten zwischen „sehr gut (1,0)“ und „ungenügend (6,0)“ bewertet. In diesen Bewertungsschwerpunkt flossen die drei Prüfkriterien „Einbauphase“ (40 %), „Nutzungsphase“ (30 %) und „Entsorgungsphase“ (30 %) ein (vgl. Abschnitt 5.2).

Die Bewertung der fünf getesteten Flüssigböden (ZFSV) hinsichtlich der o.g. Kriterien sowie die daraus hervorgehenden Gesamtnoten für die Systemprüfungen sind in der nachfolgenden Tabelle 39 dargestellt.

Tabelle 39 Benotung der Systemprüfungen „Einbauphase“, „Nutzungsphase“ und „Entsorgungsphase“

Systemprüfungen (85 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Einbauphase[1] (40 %)	Nicht bewertbar[5]	2,1	1,8	2,6	2,4
Nutzungsphase[2] (30 %)	Nicht bewertbar[5]	1,1	1,1	3,9	1,1
Entsorgungsphase[3] (30 %)	5,4[6]	2,3	4,5	1,8	2,0
Note[4] (100 %)	**Nicht bewertbar[5]**	**1,9**	**2,4[7]**	**2,8[8]**	**1,9**

[1] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 40 bis Tabelle 45 dargestellten Ergebnissen.
[2] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 46 bis Tabelle 51 dargestellten Ergebnissen.
[3] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 51 bis Tabelle 55 dargestellten Ergebnissen.
[4] Mittelwertberechnung mit ungerundeten Werten.
[5] Nicht bewertbar, da die Prüfung der Leitungsumschließung aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit nicht durchgeführt werden konnte.
[6] Nicht als Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau einsetzbar.
[7] Abwertung des IKT-Prüfurteils (Gesamtnote) um einen Notenpunkt (1,0), da im K.O.-Kriterium „Wiederaushubfähigkeit“ die Note „mangelhaft“ erreicht wurde.
[8] Abwertung des IKT-Prüfurteils (Gesamtnote) jeweils um einen Notenpunkt (1,0), da im K.O.-Kriterium „Überbaubarkeit“ die Note „mangelhaft“ und im K.O.-Kriterium „Wiederverwertung“ die Note „mangelhaft“ erreicht wurde.

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

6.2.1 Einbauphase

Das Kriterium „Einbauphase“ wird anhand von fünf Unterkriterien (vgl. Abschnitt 5.2) mit insgesamt 40 % bewertet.

Für das Ergebnis der fünf Unterkriterien wird entsprechend dem Bewertungsschema in Tabelle 6 jeweils eine Einzelnote vergeben und zu einer Endnote zusammengeführt.

Die nachfolgende Tabelle 40 zeigt die Bewertung für das Kriterium „Einbauphase“.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 40 Bewertung der Systemprüfung „Einbauphase"

Einbauphase (40 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Fließfähigkeit (K.O.-Kriterium)[1] (30 %)	3,0	2,0	2,0	3,0	2,0
Leitungsumschließung[2] (20 %)	Nicht bewertbar[6]	1,0	2,0	1,0	3,0
Verfüllen der Verbauspur[3] (20 %)	4,0	1,0	1,0	1,0	4.0
Volumenstabilität[4] (10 %)	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0
Begehbarkeit[5] (20 %)	2,0	5,0	2,0	6,0	1,0
Note[7] (100 %)	**Nicht bewertbar[6]**	**2,1**	**1,8**	**2,6**	**2,4**

[1] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 41 dargestellten Ergebnissen.
[2] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 42 dargestellten Ergebnissen.
[3] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 43 dargestellten Ergebnissen.
[4] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 44 dargestellten Ergebnissen.
[5] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 45 dargestellten Ergebnissen.
[6] Nicht bewertbar, da die Prüfung der Leitungsumschließung aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit nicht durchgeführt werden konnte.
[7] Mittelwertberechnung mit ungerundeten Werten.

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Unterkriterien bei der „Einbauphase“ detailliert dargestellt.

6.2.1.1 Fließfähigkeit (K.O.-Kriterium)

Das K.O.-Kriterium „Fließfähigkeit“ setzt sich aus vier Unterkriterien zusammen. Für die Bewertung des Kriteriums „Fließfähigkeit“ werden die Kritikpunkte aus den Unterkriterien „Mittlere Konsistenz“, „Lieferbeständigkeit“, Mischungsstabilität“ und „Niveaugleiches Füllen“ gemäß Tabelle 7 bis Tabelle 10 gesammelt und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 11 benotet.

Die Kritikpunkte für das Unterkriterium **„Mittlere Konsistenz“** wird ermittelt, in dem das Ausbreitmaß des Materials je Fahrzeuglieferung bestimmt wird. Die einzelnen Prüfwerte werden anschließend aufsummiert und durch die Anzahl der Fahrzeuglieferungen geteilt, um so die mittlere Konsistenz (Ausbreitmaßklasse) zu erhalten. Seitens der Lenkungskreismitglieder wurde mindestens eine fließfähige Ausbreitmaßklasse von F5 (560 mm bis 620 mm) gefordert (vgl. Tabelle 3). Alle Materialien lagen im Mittelwert mindestens in der Ausbreitmaßklasse F5, sodass keine Kritikpunkt vergeben wurden.

Bei dem Unterkriterium **„Lieferbeständigkeit“** wird zunächst die größte Abweichung zwischen den einzelnen Ausbreitmaßprüfungen ermittelt und diese anschließend bewertet. Kritikpunkte können ausschließlich gesammelt werden, wenn mindestens eine Einzelprüfung der Klasse F1-F4 zugeordnet wird. Entsprechend werden bei durchgängiger Ausbreitmaßklasse von mindestens F5 keine Kritikpunkte vergeben. Bei den Materialien „carbofill®“ und „WBM-Flüssigboden®“ lag das Ausbreitmaß in Einzelprüfungen unter F5, sodass „carbofill®“ mit zwei und „WBM-Flüssigboden®“ mit vier Kritikpunkten bewertet wurde (vgl. Bild 10). Alle weiteren Materialien erhielten keine Kritikpunkte.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

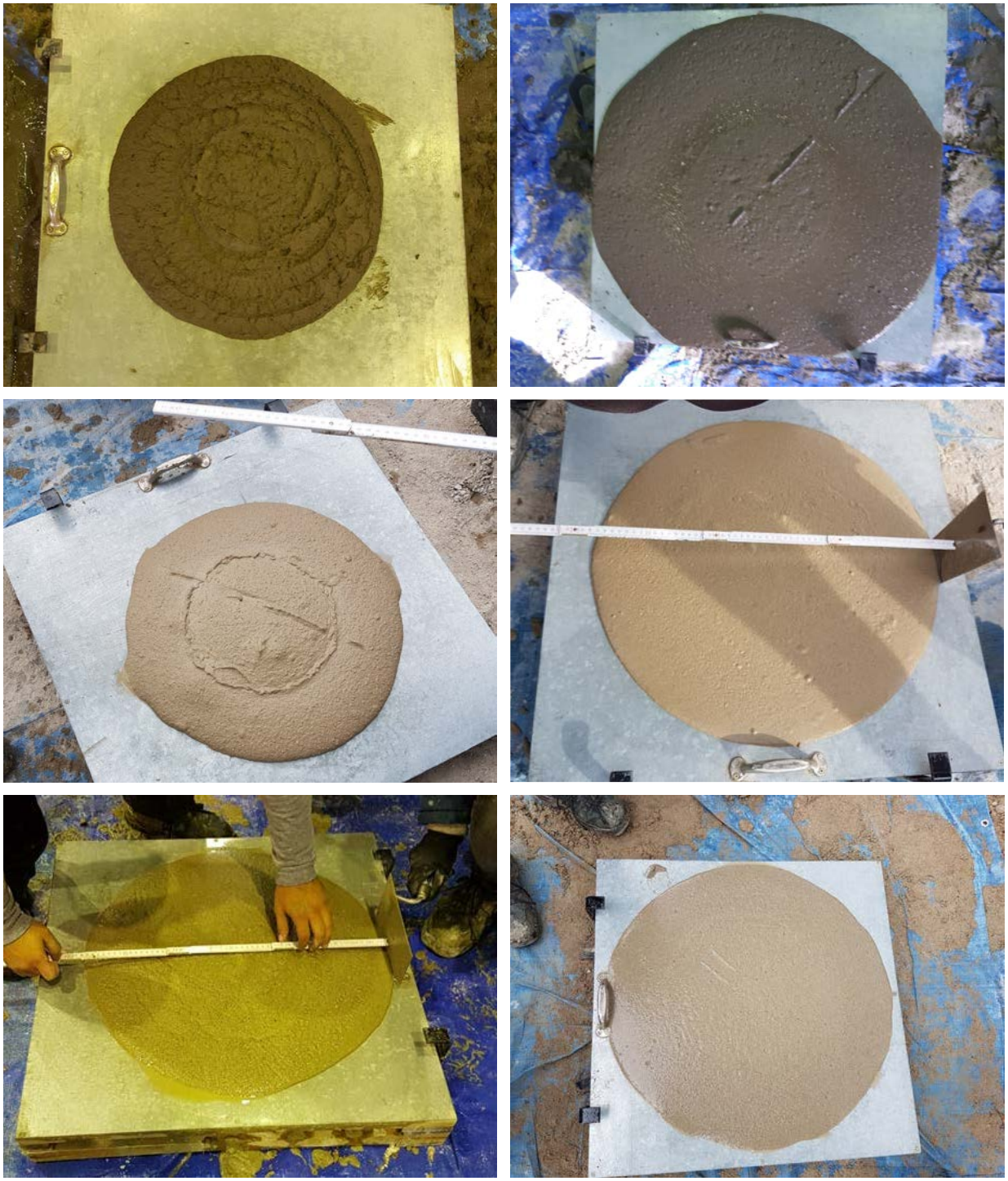

Bild 10 Bewertung des Ausbreitmaßes hinsichtlich der „Lieferbeständigkeit“: F3-Ausbreitmaß (oben links) und F6-Ausbreitmaß (oben rechts) bei „WBM-Flüssigboden®“, F4-Ausbreitmaß (mitte links) und F5-Ausbreitmaß (mitte rechts) bei „carbofill®“, Beispiel für ein Material ohne Auffälligkeiten F5-Ausbreitmaß (unten links) und F6-Ausbreitmaß (unten rechts)

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Das Unterkriterium **„Mischungsstabilität“** wird anhand der Ergebnisse des Drei-Segment-Zylinderversuchs bewertet. Ein Material wird als instabil bewertet, wenn eine Sedimentationsabweichung von mehr als 10 % vorliegt. Bei dem Material „Terrapact©“ konnte bei der Prüfung eine Sedimentationsabweichung von 15,5 % festgestellt werden, sodass das Material als instabil bewertet wurde (drei Kritikpunkte). Die weiteren Materialien zeigten keine Auffälligkeiten hinsichtlich einer Sedimentationsabweichung (Ergebnisse zwischen 5,6 % und 7,7 %). Demzufolge wurden keine Kritikpunkte vergeben.

Für die Bewertung des Unterkriteriums **„Niveaugleiches Füllen“** wird der Materialhöhenunterschied auf der gesamten Oberfläche der Baugrube im IKT-Großversuchsstand ermittelt. Für die Materialien „Terrapact©“ (0,19 m) und „carbofill®“ (0,28 m) wurden jeweils ein Kritikpunkt und für die Materialien „TerraFlow®“ (0,35 m) und „RSS® Flüssigboden“ (0,45 m) jeweils drei Kritikpunkte vergeben. Bei dem Material „WBM-Flüssigboden®“ konnte ein Höhenunterschied von 0,15 m festgestellt werden (keine Kritikpunkte).

Insgesamt wurden bei dem K.O.-Kriterium „Fließfähigkeit“ dreimal die Note 2,0 („carbofill®“, „TerraFlow®“ und „RSS® Flüssigboden“) und zweimal die Note 3,0 („Terrapact©“ und „WBM-Flüssigboden®“) vergeben.

Die nachfolgende Tabelle 41 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Fließfähigkeit“ zusammen.

Tabelle 41 Bewertung für das K.O.-Kriterium „Fließfähigkeit"

Fließfähigkeit (K.O.-Kriterium) (30 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Mittlere Konsistenz	680 mm (F6)	590 mm (F5)	620 mm (F5)	660 mm (F6)	570 mm (F5)
	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP
Lieferbeständigkeit	- (F6)	77 mm (F4-F6)	- (F5-F6)	245 mm (F3-F6)	- (F5)
	0 KP	2 KP	0 KP	4 KP	0 KP
Mischungsstabilität	15,1 %	6,0 %	5,6 %	5,7 %	7,7 %
	3 KP	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP
Niveaugleiches Füllen	0,19 m	0,28 m	0,35 m	0,15 m	0,45 m
	1 KP	1 KP	3 KP	0 KP	3 KP
Summe Kritikpunkte	**4 KP**	**3 KP**	**3 KP**	**4 KP**	**3 KP**
Note	**3,0**	**2,0**	**2,0**	**3,0**	**2,0**
KP = Kritikpunkt(e)					
Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0					

6.2.1.2 Leitungsumschließung

Die „Leitungsumschließung“ wird in drei Unterkriterien „Querleitungen“, „Längsleitungen und Leitungspaket“ sowie der „Hauptleitung“ (vgl. Tabelle 12) unterteilt. Für die Bewertung werden die Kritikpunkte der Unterkriterien aufsummiert und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 13 benotet. Die Bewertungen der Unterkriterien **„Querleitungen“**,

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

„Längsleitungen und Leitungspaket“ sowie **„Hauptleitung“** erfolgt auf Basis einer Fotodokumentation durch die Lenkungskreismitglieder, indem der durch den Flüssigboden (ZFSV) umschlossene Leitungsbereich hinsichtlich Hohlräume beurteilt wird. Bei dem Material „Terrapact©“ konnte das Kriterium „Leitungsumschließung“ nicht bewertet werden, da aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit die Untersuchungen nicht durchgeführt werden konnten (vgl. Abschnitt 6.2.4.1). Das Material „RSS® Flüssigboden“ zeigte bei den „Querleitungen“ sowie „Längsleitungen und Leitungspaket“ statisch irrelevante Hohlräume. Darüber hinaus waren bei „TerraFlow®“ statisch irrelevante Hohlräume an der Hauptleitung erkennbar. Entsprechend wurden diese Auffälligkeiten jeweils mit einem Kritikpunkt bewertet. Bei allen weiteren Materialien waren keine Hohlräume erkennbar, sodass keine Kritikpunkte vergeben wurden (vgl. Bild 11)

Bild 11 Bewertung des Kriteriums „Leitungsumschließung“. Exemplarisch Beispiele für keine Auffälligkeiten (Hauptleitung (oben links), Längsleitung (oben mitte) und Querleitung (oben rechts) sowie Auffälligkeiten bei der TerraFlow-Hauptleitung (unten links) und bei der RSS-Querleitung (unten mitte) und bei der RSS-Längsleitung (unten rechts)

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Insgesamt wurden bei dem Kriterium **„Leitungsumschließung“** zweimal die Note 1,0 („carbofill®“ und „WBM-Flüssigboden®“), einmal die Note 2,0 („TerraFlow®“) und einmal die Note 3,0 („RSS® Flüssigboden“) vergeben. Bei dem Material „Terrapact©“ konnte das Kriterium „Leitungsumschließung“ nicht bewertet werden, da aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit die Untersuchungen nicht durchgeführt werden konnten (vgl. Abschnitt 6.2.4.1).

Die nachfolgende Tabelle 42 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Leitungsumschließung“ zusammen.

Tabelle 42 Bewertung für das Kriterium „Leitungsumschließung"

Leitungsumschließung (20 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Querleitungen	Nicht bewertbar[1]	Keine Hohlräume	Keine Hohlräume	Keine Hohlräume	Statisch irrele. Hohlräume
		0 KP	0 KP	0 KP	1 KP
Längsleitungen und Leitungspaket	Nicht bewertbar[1]	Keine Hohlräume	Keine Hohlräume	Keine Hohlräume	Statisch irrele. Hohlräume
		0 KP	0 KP	0 KP	1 KP
Hauptleitung	Nicht bewertbar[1]	Keine Hohlräume	Statisch irrele. Hohlräume	Keine Hohlräume	Keine Hohlräume
		0 KP	1 KP	0 KP	0 KP
Summe Kritikpunkte	**Nicht bewertbar[1]**	**0 KP**	**1 KP**	**0 KP**	**2 KP**
Note	**Nicht bewertbar[1]**	**1,0**	**2,0**	**1,0**	**3,0**

KP = Kritikpunkt(e)

[1] Prüfung der Leitungsumschließung konnte aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit nicht durchgeführt werden.

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

6.2.1.3 Verfüllen der Verbauspur

Das Kriterium „Verfüllen der Verbauspur“ setzt sich aus drei Unterkriterien zusammen. Für die Bewertung des Kriteriums „Verfüllen der Verbauspur“ werden die Kritikpunkte aus den Unterkriterien „Hohlraumverfüllung“, „Kontakt“ und „Bruchrisiken“ gemäß Tabelle 14, Tabelle 15 und Tabelle 16 gesammelt und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 17 benotet.

Bei dem Unterkriterium **„Hohlraumverfüllung“** wird auf Basis einer Fotodokumentation durch die Lenkungskreismitglieder das Verfüllen des Hohlraumes hinter dem Verbaukasten mit Flüssigboden (ZFSV) in verschieden Tiefen bewertet. Bei allen Materialen wurden keine Auffälligkeiten hinsichtlich der „Hohlraumverfüllung“ festgestellt, sodass keine Kritikpunkte vergeben wurden (vgl. Bild 12).

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 12 Bewertung des Unterkriteriums „Hohlraumverfüllung“: Exemplarische Beispiele (links), (mitte) und (rechts) jeweils ohne Auffälligkeiten

Für das Unterkriterium **„Kontakt“** wird auf Basis einer Fotodokumentation durch die Lenkungskreismitglieder der Übergangsbereich zwischen dem Flüssigboden (ZFSV) und dem anstehenden Boden in verschiedenen Tiefen im Verbaukasten bewertet. Es konnte ein stabilisierender Kontakt zwischen dem eingebauten Flüssigboden (ZFSV) und dem anstehenden Boden beobachtet werden, sodass bei allen Materialien keine Kritikpunkte vergeben wurden (vgl. Bild 13).

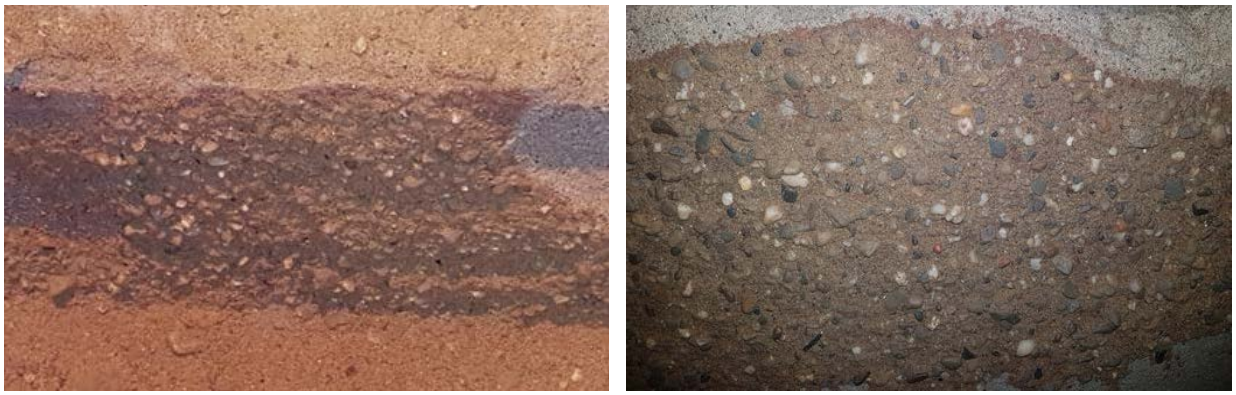

Bild 13 Bewertung des Unterkriteriums „Kontakt": Exemplarische Beispiele (links) und (rechts) jeweils ohne Auffälligkeiten

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Bei dem Unterkriterium **„Bruchrisiken“** wird die Oberfläche im unmittelbaren Umgebungsbereich des Verbaukastens während und nach dem Einfüllen des Flüssigbodens (ZFSV) auf Basis einer Fotodokumentation durch die Lenkungskreismitglieder bewertet. Die Materialien „Terrapact©“ und „RSS® Flüssigboden“ zeigten Auffälligkeiten in Form von massiven Oberflächenbrüchen im Bereich der Verbaukästen, sodass jeweils drei Kritikpunkte vergeben wurden. Bei den Flüssigböden (ZFSV) „carbofill®“, „TerraFlow®“ und „WBM-Flüssigboden®“ waren keinen Oberflächenbrüche erkennbar (keine Kritikpunkte) (vgl. Bild 14).

Bild 14 Bewertung des Unterkriteriums „Bruchrisiken“: Massiver Oberflächenbruch bei Material „Terrapact©“ (oben links) und „RSS® Flüssigboden“ (oben rechts) sowie exemplarische Beispiele für „Oberflächenbruch nicht erkennbar“ (unten links und rechts)

Insgesamt wurden bei dem Kriterium „Verfüllen der Verbauspur“ dreimal die Note 1,0 („carbofill®“, „TerraFlow®“ und „WBM-Flüssigboden®“) und zweimal die Note 4,0 („Terrapact©“ und „RSS® Flüssigboden“) vergeben.

Die nachfolgende Tabelle 43 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Verfüllen der Verbauspur“ zusammen.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 43 Bewertung für das Kriterium „Verfüllen der Verbauspur"

Verfüllen der Verbauspur (20 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Hohlraumverfüllung	Keine Hohlräume	Keine Hohlräume	Keine Hohlräume	Keine Hohlräume	Keine Hohlräume
	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP
Kontakt	Stabil. Kontakt	Stabil. Kontakt	Stabil. Kontakt	Stabil. Kontakt	Stabil. Kontakt
	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP
Bruchrisiken	Mass. Bruch erkennbar	Bruch nicht erkennbar	Bruch nicht erkennbar	Bruch nicht erkennbar	Mass. Bruch erkennbar
	3 KP	0 KP	0 KP	0 KP	3 KP
Summe Kritikpunkte	**3 KP**	**0 KP**	**0 KP**	**0 KP**	**3 KP**
Note	**4,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**4,0**

KP = Kritikpunkt(e)

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

6.2.1.4 Volumenstabilität

Das Kriterium „Volumenstabilität“ setzt sich aus zwei Unterkriterien zusammen. Für die Bewertung des Kriteriums „Volumenstabilität“ werden die Kritikpunkte aus den Unterkriterien „Wasserabsonderung“ und „Volumenänderung“ gemäß Tabelle 18 und Tabelle 19 gesammelt und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 20 benotet. Das Unterkriterium **„Wasserabsonderung“** wird anhand der Ergebnisse des Absetztestes gemäß DIN EN 445 [8] nach drei Stunden bewertet. Nach drei Stunden lag der Wert der „Wasserabsonderung“ bei „carbofill®“ und „WBM-Flüssigboden®“ unter 0,3 %, sodass jeweils keine Kritikpunkte vergeben wurden. Die Materialien „TerraFlow®“ (0,66 %) und „Terrapact©“ (1,16 %) wurden jeweils mit zwei Kritikpunkten und „RSS® Flüssigboden“ (1,92 %) mit drei Kritikpunkten bewertet.

Für das Unterkriterium **„Volumenänderung“** werden die Ergebnisse des Absetztestes in Anlehnung an DIN EN 445 [8] zwischen 3h und 24h betrachtet. Bei allen Materialien lag die Volumenänderungen unter 0,3 %, sodass keine Kritikpunkte vergeben wurden.

Insgesamt wurden bei dem Kriterium „Volumenstabilität“ zweimal die Note 1,0 („carbofill®“ und „WBM-Flüssigboden®“) und dreimal die Note 2,0 („Terrapact©“, „TerraFlow®“ und „RSS® Flüssigboden“) vergeben.

Die nachfolgende Tabelle 44 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Volumenstabilität“ zusammen.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 44 Bewertung für das Kriterium „Volumenstabilität"

Volumenstabilität (10 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Wasserabsonderung	1,16 %	0,05 %	0,66 %	0,22 %	1,92 %
	2 KP	0 KP	2 KP	0 KP	3 KP
Volumenänderung	-0,22 %	-0,01 %	-0,22 %	-0,27 %	-0,11 %
	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP
Summe Kritikpunkte	**2 KP**	**0 KP**	**2 KP**	**0 KP**	**3 KP**
Note	**2,0**	**1,0**	**2,0**	**1,0**	**2,0**
KP = Kritikpunkt(e) Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0					

6.2.1.5 Begehbarkeit

Das Kriterium „**Begehbarkeit**“ wird bewertet, in dem eine „IKT-Begehbarkeitsprüfung“ im Intervall von 30 Minuten durchgeführt wird. Ein Flüssigboden (ZFSV) gilt als begehbar, wenn innerhalb der Prüfzeit von einer Minute die maximale Einsinktiefe von einem Zentimeter mit einem Gewicht von 85 kg nicht überschritten wird. Die angegebene „Begehungszeit“ startet bei Befüllung des Fahrzeugmischers gemäß Lieferschein im Mischwerk.

Mit der Note 1,0 wurde das Material „RSS® Flüssigboden“ benotet, da die Begehung des Flüssigbodens (ZFSV) nach 3,9 Stunden möglich war. Für die Materialien TerraFlow®“ (4,7 h) und „Terrapact©“ (5 h) wurde jeweils die Note 2,0 vergeben. Die Flüssigböden „carbofill®“ (22,3 h) und „WBM-Flüssigboden®“ (30,3 h) erhielten die Noten 5,0 und 6,0.

Die nachfolgende Tabelle 45 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Begehbarkeit“ zusammen.

Tabelle 45 Bewertung für das Kriterium „Begehbarkeit"

Begehbarkeit (20 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Begehbarkeit	5 h	22,3 h	4,7 h	30,3 h	3,9 h
Note	**2,0**	**5,0**	**2,0**	**6,0**	**1,0**
Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0					

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.3 Nutzungsphase

Das Prüfkriterium „Nutzungsphase“ wird anhand von vier Kriterien mit insgesamt 30 % (vgl. Abschnitt 5.2) bewertet.

Für das Ergebnis der vier Kriterien wird entsprechend dem Bewertungsschema in Tabelle 22 jeweils eine Einzelnote vergeben, diese anschließend gewichtet und zu einer Endnote zusammengeführt.

Die nachfolgende Tabelle 46 zeigt die Bewertung für das Prüfkriterium „Nutzungsphase“.

Tabelle 46 Bewertung der Systemprüfung „Nutzungsphase"

Nutzungsphase (30 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Überbaubarkeit (K.O.-Kriterium)[1] (40 %)	1,0	1,0	1,0	5,0[7]	1,0
Setzungsrisiko[2] (25 %)	1,0	1,0	1,0	6,0	1,0
Bettungseigenschaften[3] (30 %)	Nicht bewertbar[6]	1,0	1,0	1,0	1,0
Wurzelschutz[4] (5 %)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Note[5] (100 %)	**Nicht bewertbar[6]**	**1,1**	**1,1**	**4,0**	**1,1**

[1] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 47 dargestellten Ergebnissen.
[2] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 48 dargestellten Ergebnissen.
[3] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 49 dargestellten Ergebnissen.
[4] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 50 dargestellten Ergebnissen.
[5] Mittelwertberechnung mit ungerundeten Werten.
[6] Nicht bewertbar, da die Prüfung der Leitungsumschließung aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit nicht durchgeführt werden konnte.
[7] Abwertung des IKT-Prüfurteils (Gesamtnote) um einen Notenpunkt, da im K.O.-Kriterium die Note „mangelhaft 5,0“ erreicht wurde.

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Unterkriterien der „Nutzungsphase“ detailliert dargestellt.

6.2.3.1 Überbaubarkeit (K.O.-Kriterium)

Für die Bewertung des K.O.-Kriteriums **„Überbaubarkeit“** werden Plattendruckversuche gemäß DIN 18134 [6] nach 7, 14, 28 und 56 Tagen durchgeführt und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 23 benotet. Zusätzlich wird der E_{v2}-Wert nach 21 Tagen durch Interpolation ermittelt.

Bild 15 Prüfung mittels Lastplattendruckversuch für das K.O.-Kriterium „Überbaubarkeit“

Bei dem K.O.-Kriterium „Überbaubarkeit“ haben die Materialien „Terrapact©“, „carbofill®“, „TerraFlow®“ und „RSS® Flüssigboden“ den E_{v2}-Wert von 45 MN/m² beim Lastplattendruckversuch nach sieben Tagen überschritten. Entsprechend wurden diese Materialien mit der Note 1,0 bewertet. Das Material „WBM-Flüssigboden®“ erreichte den geforderten E_{V2}-Wert von 45 MN/m² beim Lastplattendruckversuch nach mehr als 28 Tagen (statt geforderten 28 Tagen), sodass gemäß dem Bewertungsschema die Note 5,0 vergeben wurde. Da es sich hierbei um ein K.O.-Kriterium handelt, führt dies zu einer Abwertung um einen Notenpunkt (1,0) beim IKT-Prüfurteil (Gesamtnote).

Die nachfolgende Tabelle 47 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Überbaubarkeit“ zusammen.

Tabelle 47 Bewertung für das K.O.-Kriteriums „Überbaubarkeit"

Überbaubarkeit (K.O.-Kriterium) (40 %)					
Prüfkriterium/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Ev2-Wert	266,1 MN/m² (7d-Wert)	131,5 MN/m² (7d-Wert)	274,9 MN/m² (7d-Wert)	55,9 MN/m² (56d-Wert)	122,8 MN/m² (7d-Wert)
Note	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**5,0[1]**	**1,0**

[1] Abwertung des IKT-Prüfurteils (Gesamtnote) um einen Notenpunkt (1,0), da im K.O.-Kriterium die Note „mangelhaft“ erreicht wurde.

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.3.2 Setzungsrisiko

Das Kriterium **„Setzungsrisiko“** wird in Anlehnung an die Endschwindmaßprüfung gemäß Arbeitsblatt DWA-A 139 [9] im Beobachtungszeitraum vom siebten bis zum 112 Tag bewertet (vgl. Tabelle 24).

Bei den Materialien „Terrapact©“, „carbofill®“, „TerraFlow®“ und „RSS® Flüssigboden“ lag das Endschwindmaß im Beobachtungszeitraum zwischen sieben und 112 Tagen unter 0,1 %, sodass jeweils die Note 1,0 vergeben wurde. Das Material „WBM-Flüssigboden®“ erreichte ein Endschwindmaß von 0,637 % und wurde entsprechend dem Bewertungsschema mit der Note 6,0 (ungenügend) bewertet.

Die nachfolgende Tabelle 48 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Setzungsrisiko“ zusammen.

Tabelle 48 Bewertung für das Kriterium „Setzungsrisiko"

Setzungsrisiko (25 %)					
Prüfkriterium/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Endschwindmaß	0,075 %	0,046 %	0,049 %	0,637 %	0,032 %
Note	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**6,0**	**1,0**
Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0					

6.2.3.3 Bettungseigenschaften

Das Kriterium „Bettungseigenschaften“ setzt sich aus den zwei Unterkriterien „Rohrverformung (Querrichtung)“ und „Bettungskontinuität (Längsrichtung)“ zusammen. Für die Bewertung wird bei dem Unterkriterium „Rohrverformung“ eine Note ermittelt, die anschließend durch das Ergebnis des Unterkriteriums „Bettungskontinuität“ noch abgewertet werden kann. Die Bewertung erfolgt nach Tabelle 25 und Tabelle 26.

Das Unterkriterium **„Rohrverformung“** wird an der verlegten Hauptleitung ermittelt. Alle bewertbaren Flüssigböden (ZFSV) wurden im Unterkriterium „Rohrverformung“ mit einem „sehr gut (1,0)“ bewertet, da jeweils eine Rohrverformung unter 2 % festgestellt wurde. Bei dem Material „Terrapact©“ konnte das Kriterium „Rohrverformung“ nicht bewertet werden, da aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit die Untersuchungen nicht durchgeführt werden konnten (vgl. Abschnitt 6.2.4.1).

Das Unterkriterium **„Bettungskontinuität“** wurde mittels Mini-MAC-System ermittelt und von einem IKT-Gutachter bewertet. Bei allen bewertbaren Flüssigböden (ZFSV) lag eine gleichmäßige Bettung in Längsrichtung vor, sodass keine Abwertung der Note „Rohrverformung“ erfolgte.

Die nachfolgende Tabelle 49 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Bettungseigenschaften“ zusammen.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 49 Bewertung für das Kriterium „Bettungseigenschaften"

Bettungseigenschaften (30 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Rohrverformung	Nicht bewertbar[1]	Rohrver. ≤ 2 %	Rohrver. ≤ 2 %	Rohrver. ≤ 2 %	Rohrver. ≤ 2 %
		1,0	1,0	1,0	1,0
Bettungskontinuität (Abwertung)	Gleichmäß. Bettung	Gleichmäß. Bettung	Gleichmäß. Bettung	Gleichmäß. Bettung	Gleichmäß. Bettung
	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
Note	**Nicht bewertbar[1]**	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**

[1] Das Kriterium konnte aufgrund einer ungenügenden Wiederaushubfähigkeit nicht bewertet werden.

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

6.2.3.4 Wurzelschutz

Das Kriterium „Wurzelschutz“ setzt sich aus den Unterkriterien „Durchlässigkeit“, „Oberflächeneigenschaften“ und „Pflanzversuch“ zusammen. Für die Bewertung des Kriteriums „Wurzelschutz“ werden die Kritikpunkte aus den Unterkriterien „Durchlässigkeit“, „Oberflächeneigenschaften“ und „Pflanzversuch“ gemäß Tabelle 27, Tabelle 28 und Tabelle 29 gesammelt und nach dem Bewertungsschema in Tabelle 30 benotet.

Das Unterkriterium **„Durchlässigkeit“** wird anhand des Ergebnisses der Wasserdurchlässigkeitsprüfung nach DIN 18130-1 [7] bewertet. Hierbei werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn der Wert unter 10^{-5} m/s liegt. Ein Kritikpunkt wird bei einer Durchlässigkeit von über 10^{-5} m/s vergeben (vgl. Tabelle 27). Bei allen Materialen wurde eine Durchlässigkeit bis zu 10^{-5} m/s ermittelt, daher wurden keine Kritikpunkte vergeben.

Das Unterkriterium **„Oberflächeneigenschaften“** wurde durch eine Inaugenscheinnahme des Flüssigboden (ZFSV) hinsichtlich Auffälligkeiten auf der gesamten Oberfläche der Baugrube im IKT-Großversuchsstand durch einen IKT-Gutachter bewertet. Die Begutachtung zeigte Oberflächenauffälligkeiten bei vier von fünf Materialien, sodass jeweils ein Kritikpunkt vergeben wurde. Bei den Materialien „Terrapact©“ und „RSS® Flüssigboden“ war jeweils ein Oberflächenbruch erkennbar (vgl. Bild 16). Darüber hinaus wurde bei den Materialien „Terrapact©“ und „carbofill®“ ein Spalt zwischen dem Flüssigboden (ZFSV) und Abwasserschacht festgestellt (vgl. Bild 17). Darüber hinaus wiesen die Materialien „TerraFlow®“ (Verbau und Schacht, vgl. Bild 18, links und mitte) und „carbofill®“ (Verbau, vgl. Bild 18, rechts) einzelne Risse auf. Bei dem Material „WBM-Flüssigboden®“ waren keine Oberflächenauffälligkeiten erkennbar (keine Kritikpunkte).

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 16 Oberflächenbruch „Terrapact©“ (links) und „RSS® Flüssigboden“ (rechts)

Bild 17 Spalt zwischen Flüssigboden (ZFSV) und Abwasserschacht bei Material „Terrapact©“ (links) und Material „carbofill®“ (rechts)

Bild 18 Risse an Verbau (links) und Schacht (mitte) bei *„TerraFlow®“ und Risse bei „carbofill®“ an Verbau (rechts)*

Das Unterkriterium **„Pflanzversuch“** (Plausibilitätsprüfung) wurde durch eine Inaugenscheinnahme des Flüssigboden (ZFSV) hinsichtlich Wurzeleinwuchs durch einen IKT-Gutachter bewertet. Es werden keine Kritikpunkte vergeben, wenn „kein Wurzeleinwuchs“ erkennbar ist. Bei „erkennbarem Wurzeleinwuchs“ wird ein Kritikpunkt vergeben (vgl. Tabelle 29).

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Ein Material wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn keine Kritikpunkte vorliegen (Beitrag zum Wurzelschutz, keine Einwuchsrisiken beobachtet). Bei einem Kritikpunkt wird die Note 3,0 (Beitrag zum Wurzelschutz mit Risiken, einzelne Einwuchsrisiken beobachtet) und ab zwei Kritikpunkten die Note 5,0 (Kein nennenswerter Beitrag zum Wurzelschutz, durchweg Einwuchsrisiken beobachtet) vergeben (vgl. Tabelle 30).

Die Begutachtung des Pflanzversuches zeigte bei „WBM-Flüssigboden®“ einen erkennbaren Wurzeleinwuchs im Flüssigboden (ZFSV), sodass ein Kritikpunkt vergeben wurde. Bei den weiteren vier Materialien war kein Wurzeleinwuchs in das Material erkennbar. Entsprechend wurden jeweils keine Kritikpunkte vergeben.

Insgesamt wurde bei dem Kriterium „Wurzelschutz“ fünfmal die Note 3,0 vergeben, d.h., dass alle getesteten Materialien einen Beitrag zum Wurzelschutz leisten können, jedoch sind Risiken vorhanden.

Die nachfolgende Tabelle 50 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Wurzelschutz“ zusammen.

Tabelle 50 Bewertung für das Kriterium „Wurzelschutz"

Wurzelschutz (5 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Durchlässigkeit	$1{,}8*10^{-6}$ m/s	$3{,}93*10^{-6}$ m/s	$4{,}39*10^{-6}$ m/s	$5{,}08*10^{-9}$ m/s	$3{,}82*10^{-7}$ m/s
	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP	0 KP
Oberflächen-eigenschaften	Auffälligkeiten erkennbar	Auffälligkeiten erkennbar	Auffälligkeiten erkennbar	Keine Auffälligkeiten	Auffälligkeiten erkennbar
	1 KP	1 KP	1 KP	0 KP	1 KP
Pflanzversuch	Kein Einwuchs	Kein Einwuchs	Kein Einwuchs	Einwuchs erkennbar	Kein Einwuchs
	0 KP	0 KP	0 KP	1 KP	0 KP
Summe Kritikpunkte	**1 KP**	**1 KP**	**1 KP**	**1 KP**	**1 KP**
Note	**3,0**	**3,0**	**3,0**	**3,0**	**3,0**

KP = Kritikpunkt(e)

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

6.2.4 Entsorgungsphase

Das Prüfkriterium „Entsorgungsphase“ wird anhand von zwei Kriterien (Wiederaushubfähigkeit und Wiederverwertung, beide K.O.-Kriterien) mit insgesamt 30 % (vgl. Abschnitt 5.2) bewertet.

Für das Ergebnis der zwei Kriterien wurde entsprechend dem Bewertungsschema in Tabelle 31 jeweils eine Einzelnote vergeben, diese anschließend gewichtet und zu einer Endnote zusammengeführt.

Die nachfolgende Tabelle 51 zeigt die Bewertung für das Prüfkriterium „Entsorgungsphase“.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 51 Bewertung der Systemprüfung „Entsorgungsphase"

Entsorgungsphase (30 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Wiederaushubfähigkeit[1] (K.O.-Kriterium) (80 %)	6,0[3]	2,1	4,8[4]	1,0	1,7
Wiederverwertung[2] (K.O.-Kriterium) (20 %)	3,0	3,0	3,0	5,0[5]	3,0
Note[6] (100 %)	**5,4**	**2,3**	**4,5**	**1,8**	**2,0**

[1] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 52 dargestellten Ergebnissen.
[2] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 55 dargestellten Ergebnissen.
[3] Nicht als Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau einsetzbar.
[4] Abwertung des IKT-Prüfurteils (Gesamtnote) um einen Notenpunkt (1,0), da im K.O.-Kriterium die Note „mangelhaft" erreicht wurde.
[5] Abwertung des IKT-Prüfurteils (Gesamtnote) um einen Notenpunkt (1,0), da im K.O.-Kriterium die Note „mangelhaft" erreicht wurde.
[6] Mittelwertberechnung mit ungerundeten Werten.

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

6.2.4.1 Wiederaushubfähigkeit (K.O.-Kriterium)

Das K.O.-Kriterium „Wiederaushubfähigkeit" setzt sich aus vier Unterkriterien zusammen und wird mit insgesamt 80 % gewertet. Für die Bewertung des Kriteriums „Wiederaushubfähigkeit" werden die Unterkriterien „Lösbarkeit nach 56d" (35 %), „Druckfestigkeit nach 28d" (30 %), „Nacherhärtung" (30 %) und die „50-Jahre-Prognose" (5 %) gemäß Tabelle 32 bis Tabelle 35 benotet. Da es sich bei dem Kriterium um ein K.O-Kriterium handelt, erfolgt eine Abwertung um einen Notenpunkt (1,0) bei dem IKT-Prüfurteil (Gesamtnote), wenn das K.O.-Kriterium mit einem „mangelhaft 5,0" bewertet wird. Wenn ein „ungenügend 6,0" bei einem Unterkriterium vergeben wird, dann wird im Lenkungskreis über die grundsätzliche Einsatzfähigkeit des Materials im Kanalbau entschieden (vgl. Abschnitt 5.1).

Bei dem Unterkriterium **„Lösbarkeit nach 56d"** wird die Lösbarkeit der eingebauten Flüssigböden (ZFSV) in Kombinationen mit dem dafür erforderlichen Kraftaufwand durch die am IKT-Warentest beteiligten Lenkungskreismitgliedern mittels Normspaten beurteilt. Für jeden eingebauten Flüssigboden (ZFSV) werden Noten zwischen 1,0 (sehr gut) bis 6,0 (ungenügend) vergeben. Die Bewertungsergebnisse der beteiligten Netzbetreiber werden anschließend arithmetisch zu einem Gesamtergebnis gemittelt.

Die Spanne der Gesamtnoten reicht bei dem Unterkriterium „Lösbarkeit nach 56d" von „sehr gut" bis „ungenügend". Dabei wurde 1x „sehr gut" für „WBM-Flüssigboden®", 1x „gut" für „RSS® Flüssigboden" und 1x „befriedigend" für „carbofill®" vergeben. Das „TerraFlow®" erhielt die Note mangelhaft (4,5), da das Material mit großem Kraftaufwand nicht mehr lösbar war. „Terrapact©" war auch mit leichtem Gerät (Minibagger) nicht lösbar und wurde entsprechend dem Bewertungsschema (vgl. Tabelle 32) mit der Note 6,0 (ungenügend) bewertet.

Bei dem Unterkriterium **„Druckfestigkeit nach 28d"** wird der Mittelwert von drei Würfeldruckprüfungen nach 28 Tagen für die Bewertung ermittelt. Die Materialien „carbofill®", „WBM-Flüssigboden®" und „RSS® Flüssigboden" wurden mit der Note 1,0 bewertet, da jeweils der f_c-Wert nach 28 Tagen unter 0,15 N/mm² lag. Das Material „TerraFlow®" erzielte einem f_c-Wert von 0,31 N/mm² und erhielt die Note 5,0

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

(mangelhaft). Es wurde bei dem Material „Terrapact©“ die Note 6,0 vergeben, da ein f_c- Wert von 0,53 N/mm² ermittelt wurde.

Das Unterkriterium **„Nacherhärtung“** wird aus den Mittelwerten der drei Würfeldruckfestigkeiten nach jeweils 7 Tagen und 56 Tagen bewertet. Die Materialien „WBM-Flüssigboden®“ ($f_{z(7\text{-}56d)}$ < 0,05 N/mm²) bzw. „carbofill®“ und „RSS® Flüssigboden“ ($f_{z(7\text{-}56d)}$ größer gleich 0,05 N/mm² und kleiner 0,08 N/mm²) wurden mit der Note 1,0 bzw. 2,0 bewertet. Beim Material „TerraFlow®“ wurde die Note 5,0 (mangelhaft) vergeben, da eine Nacherhärtung von 0,17 N/mm² ermittelt wurde. Die Nacherhärtung lag bei dem Material „Terrapact©“ bei 0,62 N/mm², sodass das Material die Note (6,0) erhielt.

Das Unterkriterium **„50-Jahre-Prognose“** wird durch eine lineare Prognose von Mittelwerten der drei Würfeldruckfestigkeiten jeweils nach 7 Tagen, 14 Tagen, 28 Tagen, 56 Tagen und 112 Tagen bewertet. Im Ergebnis wird durch eine Berechnung ermittelt, welche Materialendruckfestigkeiten in 50 Jahren zu erwarten sind. Die Materialien „WBM-Flüssigboden®“ und „RSS® Flüssigboden“ (f_c-Wert jeweils unter 0,30 N/mm) wurden mit der Note 1,0 und „carbofill®“ (f_c-Wert=0,32 N/mm²) mit der Note 2,0 bewertet. Beim Material „TerraFlow®“ lag ein f_c-Wert von 0,88 N/mm² vor, sodass gemäß dem Bewertungsschema die Note 5,0 vergeben wurde. Das Material „Terrapact©“ wies ein f_c-Wert von 2,4 N/mm² auf und erhielt die Note (6,0).

Insgesamt wurden bei dem Kriterium „Wiederaushubfähigkeit“ die Note 1,0 für „WBM-Flüssigboden®“, die Note 1,7 für „RSS® Flüssigboden“ und die Note 2,1 für „carbofill®“ vergeben. Das Material „TerraFlow®“ wurde mit der Note 4,8 (mangelhaft) bewertet. Dies führt zu einer Abwertung des IKT-Prüfurteils von einem Notenpunkt (1,0). Das Material „Terrapact©“ erhielt die Note 6,0. Gemäß dem Bewertungsschema wurde im Lenkungskreis über die grundsätzliche Einsatzfähigkeit des Materials im Kanalbau diskutiert. Die Lenkungskreismitglieder haben einstimmig beschlossen, dass das Material nicht als Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau einsetzbar ist. Daraus resultiert, dass für das Material „Terrapact©“ das IKT-Prüfurteil „ungenügend (6,0)“ unabhängig von den weiteren Teilnoten vergeben wird.

Die nachfolgende Tabelle 52 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Wiederaushubfähigkeit“ zusammen.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 52 Bewertung für das K.O.-Kriterium „Wiederaushubfähigkeit"

Wiederaushubfähigkeit (K.O.-Kriterium) (80 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Lösbarkeit nach 56d (35 %)	6,0	3,1	4,5	1,1	2,2
Druckfestigkeit nach 28d (30 %)	0,53 N/mm²	0,1 N/mm²	0,31 N/mm²	0,05 N/mm²	0,1 N/mm²
	6,0	1,0	5,0	1,0	1,0
Nacherhärtung (30 %)	0,62 N/mm²	0,07 N/mm²	0,17 N/mm²	~ 0 N/mm²	0,07 N/mm²
	6,0	2,0	5,0	1,0	2,0
50-Jahre-Prognose (5 %)	2,4 N/mm²	0,32 N/mm²	0,88 N/mm²	0,05 N/mm²	0,27 N/mm²
	6,0	2,0	5,0	1,0	1,0
Note (100 %)	**6,0[1]**	**2,1**	**4,8[2]**	**1,0**	**1,7**

[1] Nicht als Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau einsetzbar.
[2] Abwertung des IKT-Prüfurteils (Gesamtnote) um einen Notenpunkt (1,0), da im K.O.-Kriterium die Note „mangelhaft“ erreicht wurde.

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

6.2.4.2 Wiederverwertung (K.O.-Kriterium)

Das K.O.-Kriterium „Wiederverwertung“ setzt sich aus den Unterkriterien „Eluatuntersuchung“ und „Wasserqualität“ zusammen. Für die Bewertung wird bei dem Unterkriterium „Eluatuntersuchung“ eine Note ermittelt (vgl. Tabelle 36), die anschließend durch das Ergebnis des Unterkriteriums „Wasserqualität“ (vgl. Tabelle 37) noch aufgewertet werden kann.

Das Unterkriterium **„Eluatuntersuchung“** wird in Anlehnung an LAGA M20 [11] im Eluat bewertet, wobei der schlechteste Untersuchungswert für die Zuordnung entscheidend ist. Die Materialien „Terrapact©“, „carbofill®“, „TerraFlow®“ und „RSS® Flüssigboden“ wurden mit der Note 3,0 (befriedigend) bewertet, da der pH-Werte zwischen 10,1 und 11,3 (Zuordnungswert Z1.2) lag. Bei dem Material „WBM-Flüssigboden®“ wurde ein Kupferwert von 100 µg/l festgestellt. Da der Kupferwert von 100 µg/l genau auf dem Grenzwert im Übergangsbereich zur Deponieklasse 1 liegt, wurde eine weitere Untersuchung durchgeführt. Bei dieser Untersuchung wurde ein Kupferwert von 220 µg/l festgestellt. Demzufolge wird das Material der Deponieklasse 1 (DK1) zugeordnet und erhält somit die Note 5,0. Da es sich hierbei um ein K.O.-Kriterium handelt, führt dies zu einer Abwertung um einen Notenpunkt (1,0) beim IKT-Prüfurteil (Gesamtnote).

In der nachfolgende Tabelle 53 werden die Ergebnisse der Eluatuntersuchung dargestellt.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 53 Bewertung für das Kriterium „Eluatuntersuchung"

Eluatuntersuchung (Eluierbarkeit mit Wasser im Trogversuch)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Glühverlust	1,8	1,9	1,7	4,7	1,2
Trockenrückstand	87,2	89,2	85,4	73,3	86,2
pH-Wert (-)	10,1 (Z1.2)	11,3 (Z1.2)	10,7 (Z 1.2)	10,9 (Z1.2)	10,4 (Z1.2)
Leitfähigkeit [µS/cm]	110	300 (Z1.2)	170	630 (Z1.2)	130
Chlorid (mg/l)	1,5	< 1	1,2	14	< 1
Cyanid (µg/l)	< 5	< 5	< 5	22 (>Z2)	< 5
Sulfat (mg/l)	3,6	3,4	4	150 (Z2)	3
Arsen (µg/l)	< 5	< 5	< 5	<5	< 5
Blei (µg/l)	< 5	< 5	< 5	<5	< 5
Cadmium (µg/l)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	< 0,5
Chrom (µg/l)	< 5	< 5	< 5	10	< 5
Kupfer (µg/l)	< 3	< 3	< 3	220 (DK1)	< 3
Nickel (µg/l)	< 5	< 5	< 5	18 (Z1.2)	< 5
Zink (µg/l)	< 10	< 10	< 10	<10	< 10
Quecksilber (µg/l)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	<0,2	< 0,2
Phenol-Index (µg/l)	< 10	< 10	< 10	<10	< 10
Ergebnis	**Z1.2**	**Z1.2**	**Z1.2**	**DK1**	**Z1.2**

Für das Unterkriterium **„Wasserqualität“** wurde eine Wasserprobe (Überschusswasser) auf die in LAGA M20 [11] aufgeführten Parameter untersucht.

Eine Aufwertung um 1,0 Notenpunkte wird durchgeführt, wenn keine Auffälligkeiten bei den Ergebnissen der Wasserprobenuntersuchung vorhanden sind. Sofern Auffälligkeiten zu verzeichnen sind, die sich nicht auf die Zugabe zementgebundener Zusatzstoffe zurückführen lassen, werden diese als „besondere Auffälligkeit“ im Kriterium Qualitätssicherung bewertet (vgl. Abschnitt 6.3).

Die Flüssigböden (ZFSV) wiesen alle Auffälligkeiten im getesteten Überschusswasser auf. Dementsprechend erfolgte keine Aufwertung der Teilnote im Kriterium „Eluatuntersuchung“. Die erhöhten Messergebnisse von pH-Wert, Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, Kupfer, Arsen und Chrom können mit dem Zementanteil im getesteten Material in Verbindung gebracht werden, sodass dies keine besondere Auffälligkeit darstellt, sofern der Wert nicht einer Deponieklasse zugeordnet wird. Der erhöhte Cyanidanteil im „WBM-Flüssigboden®“ lässt sich nicht mit dem vorhandenen Zementanteil erklären und wird entsprechend im Kriterium „Qualitätssicherung“ unter „besondere Auffälligkeiten“ berücksichtigt (vgl. Abschnitt 6.3).

In der nachfolgenden Tabelle 54 werden die Ergebnisse der Wasserqualität (Überschusswasser) dargestellt.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 54 Bewertung für das Kriterium „Wasserqualität“

Wasserqualität (Überschusswasser)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Glühverlust	-	-	-	-	-
Trockenrückstand	-	-	-	-	-
pH-Wert (-)	12,7	12,5	12,5	8	12,6
Leitfähigkeit [µS/cm]	15.000	8.600	9.200	4.800	13.000
Chlorid (mg/l)	580	270	160	530	72
Cyanid (µg/l)	5	5	5	60	5
Sulfat (mg/l)	850	1.200	1.600	1.400	750
Arsen (µg/l)	< 5	< 5	< 5	21	< 5
Blei (µg/l)	< 5	8,1	< 5	26	< 5
Cadmium (µg/l)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,61	< 0,5
Chrom (µg/l)	< 5	630	190	18	67
Kupfer (µg/l)	3,5	140	59	129	< 3
Nickel (µg/l)	< 5	12	6,9	75	< 5
Zink (µg/l)	25	10	< 10	130	< 10
Quecksilber (µg/l)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Phenol-Index (µg/l)	10	26	10	10	10

Die nachfolgende Tabelle 55 fasst die Bewertungsergebnisse für das Kriterium „Wiederverwertung“ zusammen.

Tabelle 55 Bewertung für das K.O.-Kriterium „Wiederverwertung"

Wiederverwertung (K.O.-Kriterium) (20 %)					
Prüfkriterien/ Flüssigboden (ZFSV)	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Eluatuntersuchung	Z 1.2	Z 1.2	Z 1.2	DK 1	Z 1.2
	3,0	3,0	3,0	5,0[1]	3,0
Wasserqualität (Aufwertung)	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
Note	**3,0**	**3,0**	**3,0**	**5,0**	**3,0**

[1] Abwertung des IKT-Prüfurteils (Gesamtnote) um einen Notenpunkt (1,0), da im K.O.-Kriterium die Note „mangelhaft“ erreicht wurde.
Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Zusatzinformationen

Mit Blick auf die Zusatzinformationen wurden folgende Kriterien bewertet:

- pH-Wert Material (Einbau)
- Viskowaage
- Zeitbedarf für den Einbau
- Mischwerk
- Entfernung Mischwerk zum IKT
- Anzahl der Lieferungen
- Materialkosten
- Pumpkosten
- Prüfkosten (Eigenüberwachung)
- Entsorgungskosten

Die Tabelle 56 stellt die Ergebnisse der Zusatzinformationen dar.

Tabelle 56 Ergebnisse der Zusatzinformationen

Zusatzinformationen					
Kriterien/ Hersteller	Holcim Beton und Betonwaren GmbH	Thomas Zement GmbH & Co. KG	Heidelberger Beton GmbH	WBM-Flüssigboden GmbH	FiFB GmbH
Material	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
pH-Wert Material (Einbau)	12,8	12,7	12,6	12,9	13,2
Viskowaage (Mittlere Scherfestigkeit 1./ 2.Tag)	0,303 kPa/ 0,300 kPa	0,281 kPa/ 0,242 kPa	0,290 kPa/ 0,340 kPa	0,264 kPa/ 0,322 kPa	0,302 kPa/ 0,334 kPa
Zeitbedarf für den Einbau (pro Mischer)	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min
Mischwerk	Holcim Beton und Beton-waren GmbH Herne	Transport-beton Ennepe Ruhr	Heidelberger Beton Werk RE	Klösters Essen GmbH	Phoenix Beton GmbH GE
Entfernung Mischwerk zum IKT	40 min/ 14 km	50 min/ 33 km	55 min/ 22 km	55 min/ 18 km	53 min/ 5 km
Anzahl der Lieferungen	7	8	8	6	8
Materialkosten	4.376,30 €	9.097,04 €	3.307,50 €	5.075,00 €	6.786,60 €
Pumpkosten	1.027,92 €	1.448,00 €	786,50 €	1.445,50 €	4.860,00 €
Prüfkosten (Eigenüberwachung)	-	-	-	1.505,00 €	3.383,50 €
Entsorgungskosten	35 €/t	35 €/t	35 €/t	85 €/t*	35 €/t

* Aufgrund der Zuordnung des Materials in die Deponieklasse 1 (DK 1) sind höhere Entsorgungskosten entstanden.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

6.3 Qualitätssicherung

Im Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung“ wurde untersucht, inwieweit jeder einzelne Anbieter die Qualität seiner Produkte überwacht bzw. Maßnahmen zur Qualitätssicherung einleitet. Dieses Kriterium ging insgesamt zu 15 % in das jeweilige Prüfurteil ein. In den Bewertungsschwerpunkt flossen die fünf Kriterien „Lieferschein“, „Eigenüberwachung“, „Qualitätszeichen“, „Schulungen“ und „Besondere Auffälligkeiten“ ein. Die Kriterien werden mit „+/-“ (nachgewiesen/ nicht nachgewiesen) bzw. „+/o/-“ (nachgewiesen/ teilweise nachgewiesen/ nicht nachgewiesen) bewertet und fließen mit je 20 % in die Note für den Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung“ ein. Für die Kriterien „Lieferschein“, „Eigenüberwachung“ und „Schulungen“ werden jeweils Unterkriterien bewertet (vgl. Abschnitt 5.3 und Tabelle 58 bis Tabelle 60).

Alle Anbieter reagierten auf die Anfrage des IKT, Unterlagen zu den Punkten der Qualitätssicherung einzureichen bzw. vorzulegen. Die eingereichten Unterlagen wurden gesichtet und hinsichtlich ihrer Vollständigkeit sowie ihres Bezugs zum geprüften Verfahren überprüft. Abschließend wurde eine Bewertung bzw. Benotung vorgenommen.

Die nachfolgende Tabelle 57 zeigt die Bewertung der einzelnen Prüfkriterien und die sich daraus ergebenden Noten.

Tabelle 57 Benotung des Bewertungsschwerpunktes „Qualitätssicherung"

Qualitätssicherung					
Kriterien/ Hersteller	Holcim Beton und Betonwaren GmbH	Thomas Zement GmbH & Co. KG	Heidelberger Beton GmbH	WBM-Flüssigboden GmbH	FiFB GmbH
Material	Terrapact©	carbofill®	TerraFlow®	WBM-Flüssigboden®	RSS® Flüssigboden
Lieferschein (20%)	o	+	o	o	+
Eigenüberwachung (20%)	+	+	+	-	+
Qualitätszeichen (20%)	+	+	+	+	+
Schulungen (20%)	-	-	+	-	+
Besondere Auffälligkeiten[1] (20%)	+	+	-	-	-
Note (100%)	**2,5**	**2,0**	**2,5**	**4,5**	**2,0**

Bewertung: „+“ nachgewiesen „o“ teilweise nachgewiesen „-“ nicht nachgewiesen

[1] Kriterium galt als bestanden (+), sofern im Zuge der Laboruntersuchungen keine zu beanstandenden Besonderheiten beobachtet wurden.

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0

Die detaillierte Bewertung der Unterkriterien „Lieferschein“, „Eigenüberwachung“ und „Schulungen“ sind nachfolgend in Tabelle 58, Tabelle 59 und Tabelle 60 dargestellt.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 58 Bewertung des Qualitätssicherungskriteriums „Lieferschein"

Lieferschein					
Kriterien/ Hersteller	Holcim Beton und Betonwaren GmbH	Thomas Zement GmbH & Co. KG	Heidelberger Beton GmbH	WBM-Flüssigboden GmbH	FiFB GmbH
Kennzeichen Lieferfahrzeug	+	+	+	+	+
Name und Adresse des Herstellers/Lieferanten	+	+	+	+	+
Name des Produktes, Sorten-Nr.	+	+	+	+	+
Konsistenz (plastisch, fließfähig)	-	+	+	-	+
Kunden- und Baustellenbezeich-nung	+	+	+	+	+
Lieferscheinnummer	+	+	+	+	+
Menge (Volumen)	+	+	+	+	+
Herstellungsdatum und -uhrzeit	+	+	+	+	+
Uhrzeit der Übergabe des ZFSV	+	+	+	+	+
Unterschriftenfelder	+	+	+	+	+
Regelung für die Wasserzugabe vor Ort	+	+	+	-	+
Zusammensetzung	-	+	-	+	+
Bewertung	**o**	**+**	**o**	**o**	**+**

Tabelle 59 Bewertung des Qulitätssicherungskriteriums „Eigenüberwachung"

Eigenüberwachung					
Kriterien/ Hersteller	Holcim Beton und Betonwaren GmbH	Thomas Zement GmbH & Co. KG	Heidelberger Beton GmbH	WBM-Flüssigboden GmbH	FiFB GmbH
Eigenüberwachungskonzept	+	+	+	+	+
Eigenüberwachung im frischen Zustand	+	+	+	-	+
Eigenüberwachung im festen Zustand	+	+	+	-	+
Bewertung	**+**	**+**	**+**	**-**	**+**

Tabelle 60 Bewertung des Qualiätssicherungskriterium „Schulungen"

Schulungen					
Kriterien/ Hersteller	Holcim Beton und Betonwaren GmbH	Thomas Zement GmbH & Co. KG	Heidelberger Beton GmbH	WBM-Flüssigboden GmbH	FiFB GmbH
Schulungskonzept für Anwender	-	-	+	-	+
Schulungskonzept für Mischwerk	-	-	+	+	+
Schulungsnachweis Mischwerk (IKT-Warentest)	+	-	+	-	+
Bewertung	**-**	**-**	**+**	**-**	**+**

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Im Ergebnis des Bewertungsschwerpunktes „Qualitätssicherung“ zeigte sich, dass kein Hersteller der getesteten Flüssigböden (ZFSV) alle Prüfkriterien nachweisen konnte. Einzelne Hersteller wiesen dabei zum Teil deutliche Defizite bei den verschiedenen Kriterien auf. Besonders auffallend war, dass das Kriterium „Schulungen“ nur von zwei Herstellern nachgewiesen wurde.

Im Gesamtblick der Ergebnisse lassen sich folgende Erkenntnisse zusammenfassen:

- Die Spanne der Gesamtnoten reicht von „gut (2,0)“ bis „ausreichend (4,5)“. Dabei werden die Noten 4 x „gut“ und 1 x „ausreichend“ vergeben.
- Jede Flüssigbodenlieferung für den Einbau im IKT-Großversuchsstand beinhaltete einen Lieferschein, der jedoch nur von zwei Herstellern („Thomas Zement“ und „FiFB“) korrekt und vollständig ausgefüllt war. Bei den Herstellern „Holcim“ und „WBM“ waren keine Informationen hinsichtlich der Konsistenz des Materials aufgeführt. Zudem war bei „WBM“ die Wasserzugabe vor Ort auf dem Lieferschein nicht geregelt. Die Zusammensetzung des Materials war bei den Herstellern „Holcim“ und „Heidelberger“ nicht dargestellt.
- Vier von fünf Anbietern konnten das Kriterium „Eigenüberwachung“ vollständig erfüllen. Der Hersteller „WBM“ lieferte keine vollständigen Informationen zu den Kriterien „Eigenüberwachung im frischen und festen Zustand“.
- Das Kriterium „Qualitätszeichen“ wurde von allen Herstellern nachgewiesen.
- Bei dem Kriterium „Schulungen“ konnten zwei Hersteller („Heidelberger“ und „FiFB“) einen vollständigen Nachweis erbringen. Die Hersteller „WBM“ und „Holcim“ lieferten vereinzelte Nachweise. Thomas Zement konnte keine der Kriterien nachweisen.
- Im Kriterium **„besondere Auffälligkeiten (K.O.-Kriterium)“** wurden folgende Auffälligkeiten festgestellt:
  - Bei „WBM“ wurde beim Materialausbau der zulässige MAK-Wert für Ammoniak überschritten. Entsprechend wurde im Lenkungskreis über die grundsätzliche Einsatzfähigkeit des Materials im Kanalbau diskutiert. Die Lenkungskreismitglieder haben einstimmig aufgrund des Arbeitssicherheitsrisikos beschlossen, dass das Material nicht als Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau einsetzbar ist. Daraus resultiert, dass für das Material „WBM-Flüssigboden®“ das IKT-Prüfurteil „ungenügend (6,0)“ unabhängig von den weiteren Teilnoten vergeben wird. Zudem wurde ein erhöhter Cyanidanteil bei der Eluat- und Überschusswasseruntersuchung sowie ein großer Materialklumpen im Fahrzeugmischer festgestellt.
  - Der Hersteller „Heidelberger“ lieferte zu wenig Material an.
  - Bei „FiFB“ wurde bei dem letzten Mischer die Gewährleistung aufgrund einer Wasserzugabe vor Ort ausgeschlossen, ohne dies vorher mit dem IKT abzustimmen (Textauszug aus Lieferschein: „Auf dringenden Verlangen des Empfängers zugegebene Wassermenge (keine Gewähr des Lieferanten)“).

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

7 Warentest-Prüfergebnisse

In den nachfolgenden Abschnitten werden für die einzelnen Flüssigböden (ZFSV) deren Warentest-Prüfzeugnisse detailliert dargestellt.

Das Warentest-Prüfzeugnis enthält für jedes Material folgende Informationen:

- Testergebnis (IKT - Gesamturteil mit den Noten für die Bewertungsschwerpunkte „Systemprüfungen“ und „Qualitätssicherung“)
- Gesamteindruck
- Zusatzinformationen

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

7.1 carbofill®

Warentest – Prüfzeugnis „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“

carbofill®
Thomas Zement GmbH & Co. KG

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil:	**Gut (1,9)**
Systemprüfungen (85 %):	**1,9**
Einbauphase (40 %):	**2,1**
Fließfähigkeit (30 %) (K.O.-Kriterium):	2,0
Leitungsumschließung (20 %):	1,0
Verfüllen der Verbauspur (20 %):	1,0
Volumenstabilität (10%):	1,0
Begehbarkeit (20 %):	5,0
Nutzungsphase (30 %):	**1,1**
Überbaubarkeit (40 %) (K.O.-Kriterium):	1,0
Setzungsrisiko (25 %):	1,0
Bettungseigenschaften (30 %):	1,0
Wurzelschutz (5 %):	3,0
Entsorgungsphase (30 %):	**2,3**
Wiederaushubfähigkeit (80 %) (K.O.-Kriterium):	2,1
Wiederverwertung (20 %) (K.O.-Kriterium):	3,0
Qualitätssicherung (15 %):	**2,0**

Gesamteindruck

Für die **Einbauphase** erzielt der Flüssigboden (ZFSV) ein gutes Ergebnis (Note 1,9). Die einzelnen Prüfkriterien bis auf die Begehbarkeit wurden mit Noten zwischen 1,0 und 2,0 bewertet. Bei dem Kriterium Begehbarkeit wurde die Note 5,0 vergeben, da eine Begehbarkeit erst nach 22,3 Stunden möglich war (Lenkungskreisanforderung: schnellstmöglich, spätestens nach 12 Stunden).

Für die **Nutzungsphase** erzielt der Flüssigboden (ZFSV) ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,1). Beim Kriterium Wurzelschutz ist ein Beitrag zum Wurzelschutz zu erwarten, jedoch sind Risiken vorhanden (Note 3,0). Alle weiteren Kriterien erhielten die Note 1,0.

Die **Entsorgungsphase** des Flüssigbodens (ZFSV) wurde mit der Note 2,3 bewertet. Die Note 3,0 wurde bei dem Kriterium Wiederverwertung aufgrund eines zu hohen pH-Wertes vergeben.

Für die **Qualitätssicherung** wird die 2,0 vergeben. Der Hersteller konnte 4 von 5 Kriterien nachweisen (Lieferschein, Eigenüberwachung, Qualitätszeichen, keine besonderen Auffälligkeiten). Bei dem Kriterium Schulungen konnte keines der Unterkriterien nachgewiesen werden.

Zusatzinformationen

- pH-Wert Material (Einbau): 12,7
- Viskowaage (Mittlere Scherfestigkeit 1./ 2. Tag): 0,281 kPa/ 0,242 kPa
- Zeitbedarf für den Einbau: 15 min pro Mischer
- Mischwerk: Transportbeton Ennepe Ruhr
- Entfernung vom Mischwerk zum IKT: 50 min/ 33 km
- Anzahl der Lieferungen: 8
- Materialkosten: 186 EUR/m³
- Pumpkosten: 30 EUR/m³
- Prüfkosten (Eigenüberwachung): 0 EUR
- Entsorgungskosten: 35 EUR/t

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

7.2 RSS® Flüssigboden

Warentest – Prüfzeugnis „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“

RSS® Flüssigboden

FiFB Forschungsinstitut für Flüssigboden GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil:	**Gut (1,9)**
Systemprüfungen (85 %):	**1,9**
Einbauphase (40 %):	**2,4**
Fließfähigkeit (30 %) (K.O.-Kriterium):	2,0
Leitungsumschließung (20 %):	3,0
Verfüllen der Verbauspur (20 %):	4,0
Volumenstabilität (10%):	2,0
Begehbarkeit (20 %):	1,0
Nutzungsphase (30 %):	**1,1**
Überbaubarkeit (40 %) (K.O.-Kriterium):	1,0
Setzungsrisiko (25 %):	1,0
Bettungseigenschaften (30 %):	1,0
Wurzelschutz (5 %):	3,0
Entsorgungsphase (30 %):	**2,0**
Wiederaushubfähigkeit (80 %) (K.O.-Kriterium):	1,7
Wiederverwertung (20 %) (K.O.-Kriterium):	3,0
Qualitätssicherung (15 %):	**2,0**

Gesamteindruck

Für die **Einbauphase** erzielt der Flüssigboden (ZFSV) ein gutes Ergebnis (Note 1,9). Die Prüfkriterien Fließfähigkeit, Volumenstabilität und Begehbarkeit wurden mit Noten zwischen 1,0 und 2,0 bewertet. Bei dem Kriterium Leitungsumschließung (Note 3,0) waren statisch irrelevante Hohlräume an den Querleitungen sowie Längsleitungen und Leitungspaket erkennbar. Im Kriterium Verfüllen der Verbauspur (Note 4,0) wurde zudem ein massiver Oberflächenbruch im Bereich der Verbaukästen festgestellt.

Für die **Nutzungsphase** erzielt der Flüssigboden (ZFSV) ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,1). Beim Kriterium Wurzelschutz ist ein Beitrag zum Wurzelschutz zu erwarten, jedoch sind Risiken vorhanden (Note 3,0). Alle weiteren Kriterien erhielten die Note 1,0.

Die **Entsorgungsphase** des Flüssigbodens (ZFSV) wurde mit der Note 2,0 bewertet. Die Note 3,0 wurde bei dem Kriterium Wiederverwertung aufgrund eines zu hohen pH-Wertes vergeben.

Für die **Qualitätssicherung** wird die 2,0 vergeben. Der Hersteller konnte 4 von 5 Kriterien nachweisen (Lieferschein, Eigenüberwachung, Qualitätszeichen und Schulungen). Es wurde eine besondere Auffälligkeit festgestellt, da bei dem letzten Mischer die Gewährleistung aufgrund einer Wasserzugabe vor Ort ausgeschlossen wurde, ohne dies vorher mit dem IKT abzustimmen*[1].

Zusatzinformationen

- pH-Wert Material (Einbau): 13,2
- Viskowaage (Mittlere Scherfestigkeit 1./ 2. Tag): 0,302 kPa/ 0,334 kPa
- Zeitbedarf für den Einbau: 15 min pro Mischer
- Mischwerk: Phoenix Beton GmbH Gelsenkirchen
- Entfernung vom Mischwerk zum IKT: 35 min/ 5 km
- Anzahl der Lieferungen: 8
- Materialkosten: 139 EUR/m³
- Pumpkosten: 99 EUR/m³
- Prüfkosten (Eigenüberwachung): 3.383,50 EUR
- Entsorgungskosten: 35 EUR/t

*[1]Textauszug aus Lieferschein: „Auf dringenden Verlangen des Empfängers zugegebene Wassermenge (keine Gewähr des Lieferanten)“.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

7.3 TerraFlow®

Warentest – Prüfzeugnis „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“

TerraFlow®
Heidelberger Beton GmbH

TESTERGEBNIS

IKT - Gesamturteil: Befriedigend (3,4)
Gesamtnote-Abwertung um 1,0 wegen mangelhafter Wiederaushubfähigkeit

Systemprüfungen (85 %):	**2,4**
Einbauphase (40 %):	**1,8**
Fließfähigkeit (30 %) (K.O.-Kriterium):	2,0
Leitungsumschließung (20 %):	2,0
Verfüllen der Verbauspur (20 %):	1,0
Volumenstabilität (10%):	2,0
Begehbarkeit (20 %):	2,0
Nutzungsphase (30 %):	**1,1**
Überbaubarkeit (40 %) (K.O.-Kriterium):	1,0
Setzungsrisiko (25 %):	1,0
Bettungseigenschaften (30 %):	1,0
Wurzelschutz (5 %):	3,0
Entsorgungsphase (30 %):	**4,5**
Wiederaushubfähigkeit (80 %) (K.O.-Kriterium):	4,8
Wiederverwertung (20 %) (K.O.-Kriterium):	3,0
Qualitätssicherung (15 %):	**2,5**

Gesamteindruck

Für die **Einbauphase** erzielt der Flüssigboden (ZFSV) ein gutes Ergebnis (Note 1,8). Alle einzelnen Prüfkriterien wurden mit Noten zwischen 1,0 und 2,0 bewertet.

Für die **Nutzungsphase** erzielt der Flüssigboden (ZFSV) ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,1). Beim Kriterium Wurzelschutz ist ein Beitrag zum Wurzelschutz zu erwarten, jedoch sind Risiken vorhanden (Note 3,0). Alle weiteren Kriterien erhielten die Note 1,0.

Die **Entsorgungsphase** des Flüssigbodens (ZFSV) wurde mit der Note 4,5 bewertet. Bei dem K.O.-Kriterium Wiederaushubfähigkeit fand einer Abwertung des IKT-Prüfurteils um einen Notenpunkt (1,0) statt, da das Material die Note 4,8 (mangelhaft) erhielt. Die Note 3,0 wurde bei dem Kriterium Wiederverwertung aufgrund eines zu hohen pH-Wertes vergeben.

Für die **Qualitätssicherung** wird die 2,5 vergeben. Der Hersteller konnte 3 von 5 Kriterien nachweisen (Eigenüberwachung, Qualitätszeichen und Schulungen). Im Kriterium Lieferschein war lediglich die Zusammensetzung des Materials nicht dargestellt. Zudem wurde eine besondere Auffälligkeit festgestellt, da zu wenig Material geliefert wurde.

Zusatzinformationen

- pH-Wert Material (Einbau): 12,6
- Viskowaage (Mittlere Scherfestigkeit 1./ 2. Tag): 0,290 kPa/ 0,340 kPa
- Zeitbedarf für den Einbau: 15 min pro Mischer
- Mischwerk: Heidelberger Beton Werk Recklinghausen
- Entfernung vom Mischwerk zum IKT: 55 min/ 22 km
- Anzahl der Lieferungen: 8
- Materialkosten: 68 EUR/m³
- Pumpkosten: 16 EUR/m³
- Prüfkosten (Eigenüberwachung): 0 EUR
- Entsorgungskosten: 35 EUR/t

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

7.4 Terrapact©

Warentest – Prüfzeugnis „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“

Terrapact©

Holcim Beton und Betonwaren GmbH

TESTERGEBNIS

IKT - Gesamturteil: Ungenügend (6,0)

Im Kanalbau nicht einsetzbar
wegen ungenügender Wiederaushubfähigkeit

Systemprüfungen (85 %):	**Nicht bewertbar**
Einbauphase (40 %):	**n.b.**
Fließfähigkeit (30 %) (K.O.-Kriterium):	3,0
Leitungsumschließung (20 %):	n.b.
Verfüllen der Verbauspur (20 %):	4,0
Volumenstabilität (10%):	2,0
Begehbarkeit (20 %):	2,0
Nutzungsphase (30 %):	**n.b.**
Überbaubarkeit (40 %) (K.O.-Kriterium):	1,0
Setzungsrisiko (25 %):	1,0
Bettungseigenschaften (30 %):	n.b.
Wurzelschutz (5 %):	3,0
Entsorgungsphase (30 %):	**5,4**
Wiederaushubfähigkeit (80 %) (K.O.-Kriterium):	6,0
Wiederverwertung (20 %) (K.O.-Kriterium):	3,0
Qualitätssicherung (15 %):	**2,5**

Gesamteindruck

Die **Einbauphase** war insgesamt nicht bewertbar, da die Prüfung der Leitungsumschließung aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit nicht durchgeführt werden konnte. Die bewertbaren einzelnen Prüfkriterien wurden mit Noten zwischen 2,0 und 4,0 bewertet.

Die **Nutzungsphase** war insgesamt nicht bewertbar, da die Prüfung der Leitungsumschließung aufgrund ungenügender Wiederaushubfähigkeit nicht durchgeführt werden konnte. Die bewertbaren einzelnen Prüfkriterien wurden mit Noten zwischen 1,0 und 3,5 bewertet.

Die **Entsorgungsphase** des Flüssigbodens (ZFSV) wurde mit der Note 5,4 bewertet. In allen Unterkategorien des K.O.-Kriteriums Wiederaushubfähigkeit erhielt das Material die Note 6,0. Die Lenkungskreismitglieder haben einstimmig gewertet, dass das Material nicht als Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau einsetzbar ist. Daraus resultiert, dass für das Material das IKT-Prüfurteil „ungenügend (6,0)“ unabhängig von den weiteren Teilnoten vergeben wird.

Für die **Qualitätssicherung** wird die 2,5 vergeben. Der Hersteller konnte 3 von 5 Kriterien vollständig nachweisen (Eigenüberwachung, Qualitätszeichen, keine besonderen Auffälligkeiten). Die anderen Kriterien konnten teilweise (Lieferschein) oder nicht nachgewiesen (Schulungen) werden.

Zusatzinformationen

- pH-Wert Material (Einbau): 12,8
- Viskowaage: (Mittlere Scherfestigkeit 1./ 2. Tag): 0,303 kPa/ 0,300 kPa
- Zeitbedarf für den Einbau: 15 min pro Mischer
- Mischwerk: Holcim Beton und Betonwaren GmbH Herne
- Entfernung vom Mischwerk zum IKT: 40 min/ 14 km
- Anzahl der Lieferungen: 7
- Materialkosten: 89 EUR/m³
- Pumpkosten: 21 EUR/m³
- Prüfkosten (Eigenüberwachung): 0 EUR
- Entsorgungskosten: 35 EUR/t

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

7.5 WBM-Flüssigboden®

Warentest – Prüfzeugnis „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“

WBM-Flüssigboden®

WBM-Flüssigboden GmbH

TESTERGEBNIS

IKT - Gesamturteil: Ungenügend (6,0)

Im Kanalbau nicht einsetzbar wg. mangelhafter Überbaubaubarkeit und Wiederverwertung sowie Arbeitssicherheitsrisiko

Systemprüfungen (85 %):	**2,8**
Einbauphase (40 %):	**2,6**
Fließfähigkeit (30 %) (K.O.-Kriterium):	3,0
Leitungsumschließung (20 %):	1,0
Verfüllen der Verbauspur (20 %):	1,0
Volumenstabilität (10%):	1,0
Begehbarkeit (20 %):	6,0
Nutzungsphase (30 %):	**4,0**
Überbaubarkeit (40 %) (K.O.-Kriterium):	5,0
Setzungsrisiko (25 %):	6,0
Bettungseigenschaften (30 %):	1,0
Wurzelschutz (5 %):	3,0
Entsorgungsphase (30 %):	**1,8**
Wiederaushubfähigkeit (80 %) (K.O.-Kriterium):	1,0
Wiederverwertung (20 %) (K.O.-Kriterium):	5,0
Qualitätssicherung (15 %):	**4,5**

Gesamteindruck

Für die **Einbauphase** erzielt der Flüssigboden (ZFSV) ein befriedigendes Ergebnis (Note 2,6). Bei dem Kriterium Begehbarkeit wurde die Note 6,0 vergeben, da eine Begehbarkeit erst nach 30,3 h möglich war.

Für die **Nutzungsphase** erzielt der Flüssigboden (ZFSV) ein ausreichendes Ergebnis (Note 4,0). Bei dem K.O.-Kriterium Überbaubarkeit fand einer Abwertung des IKT-Prüfurteils um einem Notenpunkt (1,0) statt, da das Material erst nach mehr als 28 Tagen überbaubar war und hier die Note 5,0 (mangelhaft) erhielt.

Die **Entsorgungsphase** wurde mit der Note 1,8 bewertet. Bei dem K.O.-Kriterium Wiederverwertung wurde die Note 5,0 vergeben, da aufgrund des zu hohen Kupferwertes das Material der Deponieklasse 1 (DK 1) zugeordnet wurde (Abwertung des IKT-Prüfurteils um einem Notenpunkt (1,0)).

Für die **Qualitätssicherung** wird die 4,5 vergeben. Der Hersteller konnte 1 von 5 Kriterien nachweisen (Qualitätszeichen). Bei dem Kriterium **„besondere Auffälligkeiten (K.O.-Kriterium)“** wurden ein Arbeitssicherheitsrisiko (MAK-Wert für Ammoniak überschritten), ein erhöhter Cyanidwert bei der Eluat- und Überschusswasseruntersuchung sowie ein großer Materialklumpen im Fahrzeugmischer festgestellt.

Die Lenkungskreismitglieder haben aufgrund der mangelhaften Ergebnisse in den K.O.-Kriterien „Überbaubarkeit“ und „Wiederverwertung“ sowie des vorhandenen Arbeitssicherheitsrisikos einstimmig gewertet, dass das Material nicht als Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau einsetzbar ist. Daraus resultiert, dass für das Material das IKT-Prüfurteil „ungenügend (6,0)“ unabhängig von den weiteren Teilnoten vergeben wird.

Zusatzinformationen

- pH-Wert Material (Einbau): 12,9
- Viskowaage: (Mittlere Scherfestigkeit 1./ 2. Tag): 0,264 kPa/ 0,322 kPa
- Zeitbedarf für den Einbau: 15 min pro Mischer
- Mischwerk: Klösters Essen GmbH
- Entfernung vom Mischwerk zum IKT: 55 min/ 18 km
- Anzahl der Lieferungen: 6
- Materialkosten: 104 EUR/m³/ Pumpkosten: 30 EUR/m³
- Prüfkosten (Eigenüberwachung): 1.505,00 EUR/ Entsorgungskosten: 85 EUR/t

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

8 Fazit

Testergebnisse belegen große Unterschiede in der Qualität

Es wurden Noten von „GUT“ bis „UNGENÜGEND“ vergeben. Das beste Ergebnis erzielte der Flüssigboden (ZFSV) „carbofill®“ mit der Note GUT (1,9), dicht gefolgt von „RSS® Flüssigboden“ mit der Note GUT (1,9) (ungerundete Werte maßgebend). Der Flüssigboden (ZFSV) „TerraFlow®“ erhielt die Note BEFRIEDIGEND (3,4). Die Flüssigböden (ZFSV) „Terrapact©“ und „WBM-Flüssigboden®“ wurden demgegenüber durch den Lenkungskreis aus unterschiedlichen Gründen „als nicht im Kanalbau einsetzbar“ bewertet; im Ergebnis wurde hier daher das IKT-Prüfurteil „UNGENÜGEND (6,0)“ vergeben. Eine detaillierte Ergebnisübersicht zeigt die Testtabelle.

Vielfältige Vorteile von Flüssigboden (ZFSV) im Test realisiert

Sowohl in den Systemprüfungen als auch den begleitenden Beobachtungen auf Baustellen und Versuchsfeldern konnten fast alle Produkte die vielfältigen Vorteile von Flüssigboden (ZFSV) unter Beweis stellen. So erlaubte die Fließfähigkeit der Materialien das vollständige Füllen der Gräben sowie eine statisch positiv zu bewertende Leitungsumschließung auch unter beengten Verhältnissen. Hohlräume und Verbauspuren wurden verfüllt und bei allen Produkten ist auch ein Beitrag zum Wurzelschutz zu erwarten.

Überbaubarkeit i.d.R. nach 7 Tagen möglich

Die gemessenen E_{V2}-Werte erreichten bei vier der fünf getesteten Produkte schon innerhalb der ersten Woche die Mindestwerte von 45 MN/m^2 für die Überbaubarkeit. Allerdings können extrem hohe E_{V2}-Werte auch darauf hindeuten, dass dann mit Blick auf die Wiederaushubfähigkeit mit zu hohen Endfestigkeiten gerechnet werden muss.

Besonderes Augenmerk auf Erfüllung von K.O.-Kriterien

Der Lenkungskreis der Netzbetreiber definierte frühzeitig Merkmale, die unbedingt einzuhalten sind, damit ein Flüssigboden (ZFSV) auch im Kanalbau als solcher einsetzbar ist. Dies betraf die Fließfähigkeit in der Einbauphase, die Überbaubarkeit in der Nutzungsphase und die Wiederaushubfähigkeit und Möglichkeit zur Wiederverwertung in der Entsorgungsphase. Zwei von fünf Produkten zeigten sich im Test bei diesen Kriterien mängelfrei: carbofill® und RSS® Flüssigboden. Die übrigen Produkte offenbarten allerdings erkennbare oder sogar schwere Mängel, die in zwei Fällen zum IKT-Prüfurteil „UNGENÜGEND 6.0“ führten.

Bodenmanagement und Qualitätssicherung im Mischwerk extrem wichtig

Die Anbieter waren aufgefordert, im Test die Produkte so anzubieten, dass deren Zusammensetzung klar definiert und auch eine Nachbestellung für künftige Baumaßnahmen möglich ist. Entsprechend war den Anbietern die Wahl des verwendeten Bodenmaterials freigestellt. In mindestens einem Fall wurde aber offensichtlich ungeeignetes Bodenmaterial (Organik, Ammoniak-Freisetzung, mangelhafte Überbaubarkeit und Wiederverwertung) in den Systemprüfungen eingesetzt. Die im Lenkungskreis vertretenen Netzbetreiber sehen hier die Anbieter/Hersteller in der Verantwortung die Qualität der eingesetzten Stoffe und Böden sicher zu bestimmen und transparent zu machen (Zitat: „Flüssigboden (ZFSV) sollte keine Wundertüte sein“). Dem Bodenmanagement und der Qualitätssicherung im Mischwerk kommt damit eine besondere Bedeutung zu.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

Zielkonflikt zwischen Wiederaushubfähigkeit und Begehbarkeit/Überbaubarkeit
Offensichtlich besteht für viele Anbieter ein Zielkonflikt zwischen einer schnellen Begehbarkeit und Überbaubarkeit und der späteren Wiederaushubfähigkeit (Spatenlösbarkeit) des Materials. Nur einem Anbieter (RSS® Flüssigboden) gelang es, in den Systemprüfungen diese Kriterien durchweg mit sehr guten oder guten Ergebnissen zu erfüllen. Die vier übrigen Anbieter zeigten im Test in mindestens einem dieser Kriterien deutliche Mängel.

Ziehen des Verbaus kann zu massiven Oberflächenbrüchen führen
In Einzelfällen führte das Ziehen des Verbaus zu massiven Oberflächenbrüchen, die auf der Baustelle zur Verunsicherung über den erfolgreichen Verfüllvorgang führen und zu Nacharbeiten zwingen können. Im Test zeigten sich in den beobachteten Fällen allerdings keine Auswirkungen auf die Belastungssituation im Untergrund. Hier sind die Hersteller gefordert, die Materialien entsprechend anzupassen oder geeignetere Zeitpunkte für das Ziehen des Verbaus zu benennen.

Hinweise für die Qualitätssicherung auf der Baustelle
Die Testergebnisse zeigen, dass wichtige Bewertungskriterien auch in der Baustellenpraxis im Zuge der Eigen- und Fremdüberwachung überprüft werden sollten. Dies betrifft insbesondere die Fließfähigkeit, Begehbarkeit, Überbaubarkeit, die Bettungseigenschaften und Wiederhaushubfähigkeit. Darüber hinaus sollte der Hersteller die Inhaltsstoffe der eingesetzten Ausgangsstoffe (auch des Bodenmaterials) in transparenter und überprüfbarer Weise darstellen. Ggf. ist auch die Lieferbeständigkeit zu überprüfen, d.h. inwieweit Schwankungen der Eigenschaften zwischen den Chargen zu beobachten sind.

Flüssigboden (ZFSV) im Kanalbau: Nur wenige überregionale Anbieter verfügbar
Im Test wurden 16 Hersteller von Flüssigboden (ZFSV) recherchiert, die ihre Produkte für den Einsatz im Kanalbau anbieten. Allerdings waren nur sechs Anbieter in der Lage überregional so anzubieten, dass ein Einsatz in Nordrhein-Westfalen sowohl auf den Versuchsfeldern in Burscheid als auch in den IKT-Systemprüfungen in Gelsenkirchen möglich war. Eines dieser Produkte war darüber hinaus zum Vergabezeitpunkt nicht pumpfähig, so dass letztlich nur fünf Produkte in den Systemprüfungen eingesetzt und verglichen wurden. Hier ist eine Erweiterung der Lieferbereiche und auch Neu- und Weiterentwicklung der Produkte wünschenswert. Entsprechende IKT-Nachtests können dann die Qualität untermauern.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH

9 Literatur

[1] Bosseler, B.; Liebscher, M.; Ulutaş, S.; Klameth, M.; Rofall, N.: Bericht zum Forschungsvorhaben „Vergleichende Untersuchung von zeitweise fließfähigen selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen (ZFSV)“ – IKT-Warentest „ Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, beauftragt vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MULNV) des Landes Nordrhein-Westfalen (Stand 09/2020, Projektabschluss voraussichtlich November 2020).

[2] DIN EN 1610: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2015.

[3] DIN EN 12350-5: Prüfung für Frischbeton – Teil 5: Ausbreitmaß, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2009.

[4] FGSV – Arbeitskreis 5.3.2 – „Zeitweise fließfähige selbstverdichtende Verfüllbaustoffe“: Versuchsbeschreibung zur Bestimmung der rheologischen Fließgrenze (τ_f) von Suspensionen mittels der modifizierten Viskowaage.

[5] BAW-Merkblatt: Entmischungssensibilität von Beton (MESB), Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe 2018.

[6] DIN 18134: Plattendruckversuch, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2001.

[7] DIN 18130-1: Baugrund, Untersuchungen von Bodenproben – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 1998.

[8] DIN EN 445: Einpressmörtel für Spannglieder – Prüfverfahren, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2008.

[9] DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef 2019.

[10] FGSV – Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau: H ZFSV – Hinweise für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen im Erdbau, Köln 2012.

[11] LAGA - Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung – 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), Mainz 2004.

©2020 All rights reserved by IKT gGmbH