

Einsatz von Flüssigboden im Leitungsbau am Beispiel ZEELINK

Von Franz-Josef Kißing, André Graßmann und Jörg Himmerich

Ausgangspunkt für eine sichere und wirtschaftliche Nutzung von Gastransportnetzen sind u. a. deren Bemessung und Errichtung. Die Bemessung orientiert sich an den normativen Vorgaben für Gastransportsysteme und ist im Wesentlichen auf den Innendruck fokussiert. Zusätzliche Bemessungsgrößen, sofern diese bekannt oder zu erwarten sind, müssen im Planungsstadium bereits mitberücksichtigt werden.

Sowohl bei der Errichtung als auch bei betrieblichen Arbeiten an Leitungen sind immer wieder Erdbautätigkeiten notwendig, bei denen (Wieder-)Einerdungen mit einer bestimmungsgemäß verdichteten und setzungsarmen Verfüllung des Rohrgrabens zum Teil schwieriger und aufwändiger sein können. In solchen Bereichen, in denen eine konventionelle Verfüllung schwerer realisierbar ist, eignet sich Flüssigboden auch als alternativer Verfüllbaustoff. Beispiele hierfür sind Leitungsquerungen, Stationen oder andere Zwangspunkte einer Leitungstrasse.

Eine mögliche Einflussgröße auf Gastransportleitungen stellen äußere Schwingungen dar, die beispielsweise durch Verdichtungsarbeiten, Rammarbeiten oder auch Erdbeben entstehen können. Schwingungen können damit einen Lastfall für Rohrleitungen und deren Systeme darstellen, der dann bei Planung und Bau zu beachten ist.

Die Bemessung von neu zu errichtenden Gastransportsystemen bezüglich des Schwingungslastfalls ist in den anzuwendenden Normen und Standards geregelt und wurde so auch bei der Planung und Errichtung der ZEELINK-Gasfernleitung mitberücksichtigt. Grundlage hierfür sind geologische Bewertungen und statistische Daten. Neben der diesbezüglich entsprechenden ausreichenden Bemessung der Rohrleitung ist auch der Einsatz von Flüssigboden als Verfüllbaustoff, der u. a. die Lasten einer Schwingung hinreichend sicher aufnehmen bzw. dämpfen kann, bei dieser Baumaßnahme zur Anwendung gekommen.

Eine besondere Maßnahme im Rahmen der Errichtung der Gastransportsysteme stellt die Lagerung von Armaturenstationen, Rohrleitungen und Bögen auf einem schwingungsdämpfenden Untergrund dar. Ein schwingungsdämpfender Untergrund kann zum einen durch technische Schwingungsdämpfer errichtet werden oder zum anderen durch besondere Verfüllbaustoffe hergestellt werden. Flüssigboden kann – je nach Rezeptur – schwingungsdämpfende Eigenschaften haben und zur Verfüllung von Rohrleitungsgräben und Baugruben von Armaturen- und Stationsanlagen eingesetzt werden. Der Einsatz empfiehlt sich vornehmlich bei schwierigen und beengten Verfüllsituationen, z. B. bei Leitungen in Hanglage, Leitungsbündeln oder zur Ringraumverfüllung.

Im Rahmen einer Baumaßnahme hat die Open Grid Europe GmbH (OGE) Flüssigboden als Verfüllbaustoff bei einer neu zu errichtenden Streckenstation der ZEELINK-Gastransportleitung eingesetzt und das schwingungsdämpfende Verhalten wurde neben anderen Flüssigbodeneigenschaften unter Steuerung/Koordinierung von der Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH untersucht. Verfüllungen von Streckenstationen mit Flüssigboden sind bislang eher Einzelfälle als gängige Praxis. Die Grundlagen des Einsatzes von Flüssigboden und die Ergebnisse der Anwendungsuntersuchung sind im Folgenden beschrieben.

Flüssigboden

Eigenschaften

Flüssigboden ist ein zeitweise fließfähiger, selbstverdichtender Verfüllbaustoff (ZFSV), der aus Boden-Bindemittel-Gemischen, Wasser, Boden/Bodenaushub, Bindemitteln, quellfähigen Tonen und ggf. Zusatzstoffen besteht. Durch die natürlichen Bestandteile ist Flüssigboden auch ökologisch unbedenklich. Der dieser Bezeichnung zugrundeliegende Baustoff ist dadurch gekennzeichnet, dass er unter definierten Prozess- und Qualitätsanforderungen zeitweise fließfähig und selbstverdichtend ist sowie eine Endfestigkeit und eine Gas-/Wasserdurchlässigkeit besitzt, die variabel einstellbar sind.

Flüssigboden ist im Einbauzustand fließfähig und erreicht in einer bestimmten Zeit eine einstellbare Festigkeit. Dieser Verfüllbaustoff ist wiederaushubfähig („stichfest“) und hat ähnliche bis gleiche bodenmechanische und bodenphysikalische Eigenschaften wie der umgebende Boden.

Durch die Wiederaushubfähigkeit des Flüssigbodens sind durch einfache Tiefbauarbeitsmittel spätere Instandhaltungsmaßnahmen ohne Probleme möglich.

Anwendungsgebiete für Flüssigboden

Je nach Rezeptur weist Flüssigboden verschiedene Eigenschaften auf. Durch die Fließfähigkeit kann Flüssigboden sich gut und gleichmäßig verteilen, wodurch eine gleichmäßige Bettung der verfüllten Anlagensysteme entsteht. Somit wird die Bettung homogener und weniger anfällig für nachträgliche

Tabelle 1: Übliche Anforderungen an den Flüssigboden [4]

Anforderung	Grund / Bemerkung
Fließfähigkeit, Kennwert: Ausbreitmaß a Forderung: a = 500...700 mm	Ermittlung der Konsistenz des Baustoffes Ausbreitklassen für Flüssigboden von F4 bis F6 („sehr weich“ bis „sehr fließfähig“)
Leichte Wiederaushubfähigkeit, Kennwert: Druckfestigkeit β_D Forderung: $\beta_D \leq 0,20 \text{ N/mm}^2$	Definition der Lösbarkeit nach der Verfestigung Leichte Wiederaushubfähigkeit = Lösbarkeit von Hand mit Schaufel
Tragfähigkeit, Kennwert: E_{v2} -Wert Forderung: $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ (Verdichtungsgrad $\geq 100 \% D_{pr}$)	Festigkeitswert, typische Anforderung für Straßenaufbauten
Durchlässigkeit, Kennwert: Permeabilität K Forderung: $K_{FB} < K_{\text{Boden}}$	Quantifizierung der Durchlässigkeit von Böden und Fels für Flüssigkeiten oder Gase abhängig von Porosität und Klüftigkeit geforderte Durchlässigkeit des Flüssigbodens muss geringer als die des anstehenden Bodens sein
Spezifischer Bodenwiderstand, Kennwert: r (Rho)	Elektrischer Widerstand des Flüssigbodens (Korrosionsschutz)
pH-Wert	Flüssigboden bei Einbau alkalisch pH-Wert sinkt binnen 30-40 Tagen signifikant bis zur Neutralität pH-Wert ist vom Anwendungsfall abhängig

Setzungen oder das Aufquellen des Bodens, wie es bei der konventionellen Verdichtung der Fall sein kann. Diese Eigenschaft ist insbesondere für Aufbauten auf dem Flüssigboden, z. B. Straßen, vorteilhaft.

Flüssigboden kann zudem weitere bestimmte Funktionen erfüllen, wie z. B.:

- » Dränage,
- » Gas-/Wassersperren,
- » Auf-/Widerlager,
- » Dämpfer,
- » Dehnpolster,
- » Dämmmaterial (Sicherung stillgelegter Leitungsabschnitte).

Sofern der Flüssigboden eine bestimmte Funktion ausüben soll, ist die Rezeptur daraufhin entsprechend anzupassen. Innerhalb des Verfüllbereiches können mehrere Funktionen festgelegt werden. In diesem Falle müssen gegebenenfalls mehrere Rezepturen erstellt und der Flüssigboden chargen- bzw. lagenweise eingebaut werden.

Anforderungen im Rohrleitungsbau

Allgemeines

Von Seiten der Leitungsstatik, also der Festigkeitsbewertung einer Gashochdruckleitung, die im Leitungsraben mit Flüssigboden verfüllt ist, soll das Verfüllmaterial eine ähnliche Wichte wie der „natürliche Boden“ besitzen. Der Einfluss des Bodens bei 1,0 m Überdeckung auf die Belastung eines Rohres einer Gashochdruckleitung ist nachweislich vernachlässigbar. Für den Fall des Einsatzes von Flüssigboden kommen jedoch zwei neue Lastkollektive im Bauzustand hinzu, welche die Lage-sicherheit und Stabilität beeinflussen können. Diese sind der Auftrieb und der hydrostatische Druck.

Die projektbezogenen Anforderungen an Flüssigboden ergeben sich im Wesentlichen aus dem baulichen Anwendungsfall,

den anstehenden Bodenverhältnissen sowie Forderungen des Leitungsbetreibers und ggf. Betroffenen (z. B. Behörden und Anlieger). Die Anforderungen an den Flüssigboden im Rohrleitungsbau sind in **Tabelle 1** zusammengestellt und erläutert. Je nach Anwendungsfall müssen nicht alle Anforderungen gestellt werden.

Auftrieb

Wird eine Rohrleitung in Flüssigboden gebettet, wirkt, solange der Flüssigboden noch nicht abgebunden ist, auf die Rohrleitung eine Auftriebskraft. Die Auftriebskraft ist eine Funktion der Rohrleitungsgeometrie, der Dichte des Flüssigbodens und der Höhe, bis zu der die Leitung im nicht abgebundenen Flüssigboden gebettet wird und wirkt entgegengesetzt der Gewichtskraft.

Ist die Auftriebskraft höher als die Gewichtskraft, schwimmt die Rohrleitung auf. Die Rohrleitung wird am Aufschwimmen gehindert, wenn sie außerhalb der Baugrube im Boden gebettet ist oder andere Randbedingungen dies verhindern. Die Wirkung des Auftriebs kann z. B. durch eine Teilfüllung, die „Sandwichbauweise“ oder durch die konstruktive, temporäre oder dauerhafte Ausbildung einer Auftriebssicherung gemindert werden. Dabei muss die Auftriebssicherung die Auftriebskräfte der Gashochdruckleitung vollständig und sicher aufnehmen und abtragen können, z. B. durch eine Bodenrückverankerung oder die Ausbildung von Bodenriegeln.

Hydrostatischer Druck

Bis zum Abbinden des Flüssigbodens wirken hydrostatische Außendrucke, die bei bestimmten Verhältnissen zwischen Wanddicke und Rohrdurchmesser von Stahlrohren und Kunststoffleitungen ohne ausreichenden Innendruck (z. B. in der Bauphase) zu Stabilitätsproblemen führen können. Ist der Flüssigboden ausgehärtet, wirkt die Stützwirkung des Bodens, wodurch sich die Last auf die Leitung verringert.

Anwendung von Flüssigboden am Beispiel der ZEELINK

Strecken-/Armaturenstationen Marbeck und Tungerloh

Im Rahmen dieser Baumaßnahme hat die OGE anhand einer neu errichteten Strecken-/Armaturenstation der Gasfernleitung ZEELINK Flüssigboden als Verfüllbaustoff geprüft und eingesetzt. Dabei wurde u. a. das schwingungsdämpfende Verhalten des Flüssigbodens untersucht. In einem Feldversuch wurden Schwingungen in der Nähe der in Flüssigboden gebetteten Station (Marbeck) gemessen und mit Messungen an einer zweiten Station (Tungerloh) mit konventioneller Bettung verglichen.

Beide Stationsstandorte besitzen eine große Ähnlichkeit in der lokalen Geologie, welche im Wesentlichen aus umgelagerten Böden sowie Tonen und Sanden besteht. Dementsprechend waren vergleichbare dynamische Systemantworten während der Schwingungsanregung zu erwarten.

Im Vorfeld des Vorhabens wurde die Auftriebskraft der Station Marbeck untersucht (**Bild 1**). Die Station besitzt eine Gesamtmasse von ungefähr 35 t. Die rechnerische Auftriebskraft bei kontinuierlicher Verfüllung bis zum obersten Rohrscheitel und die Gewichtskraft der Station sind in **Bild 2** gegenübergestellt.

Einbaubedingungen

Der Einbau des Flüssigbodens erfolgte an der Station Marbeck wie geplant an zwei Tagen. Die Verfüllung mit Flüssigboden ist vom Fundament bis knapp 0,1 m über dem höchstgelegenen Rohrscheitel innerhalb der Station erfolgt. Oberhalb des Flüssigbodens ist anschließend konventionell verfüllt worden. **Bild 3** zeigt die Station Marbeck bei vorangeschrittener Verfüllung.

Der Flüssigbodens ist lagenweise in einer „Sandwichbauweise“ verbaut worden. Die erste Lage erfolgte bis zu den Kämpfern (Mitte der Verrohrung, bei ca. 1,7 m oberhalb des Fundamentes). Die zweite Lage wurde nach einer Wartezeit von ungefähr einem Tag eingebaut. Die Lagen der Verfüllung der Station sind schematisch in **Bild 4** dargestellt.

Qualitätssicherung/Überwachungskonzept

Das Überwachungskonzept dient der Gewährleistung der Qualität des Flüssigbodens im Einbau- und Endzustand. Das Überwachungskonzept setzt sich für die Bauausführung gemäß [2] und [3] aus Eigen- und Fremdüberwachung zusammen. Die Durchführung einer Fremdüberwachung ist dabei nicht verpflichtend.

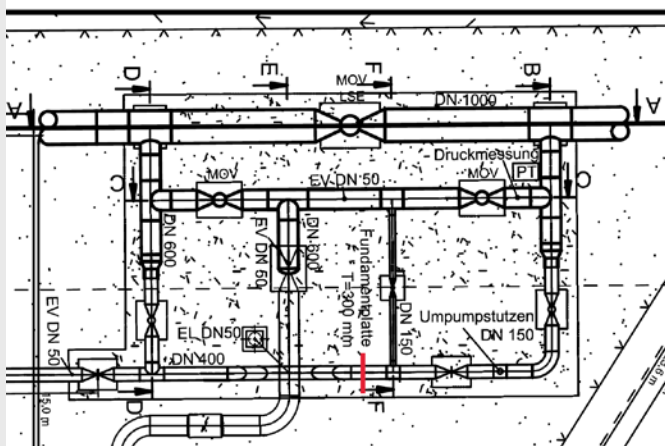


Bild 1: Lageplan Station Marbeck der ZEELINK

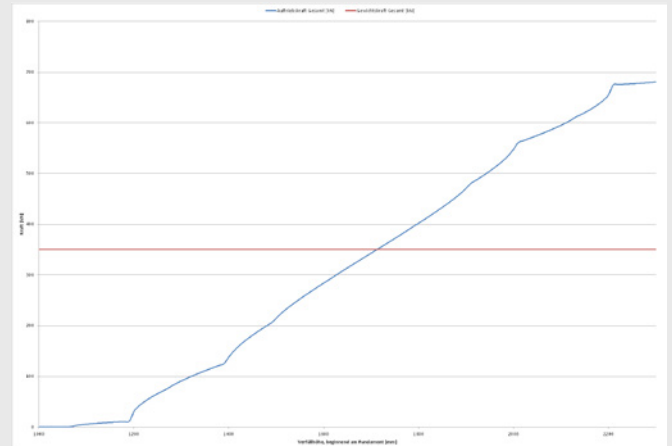


Bild 2: Auftriebskraft der Station Marbeck



Bild 3: Station Marbeck bei vorangeschrittener Verfüllung

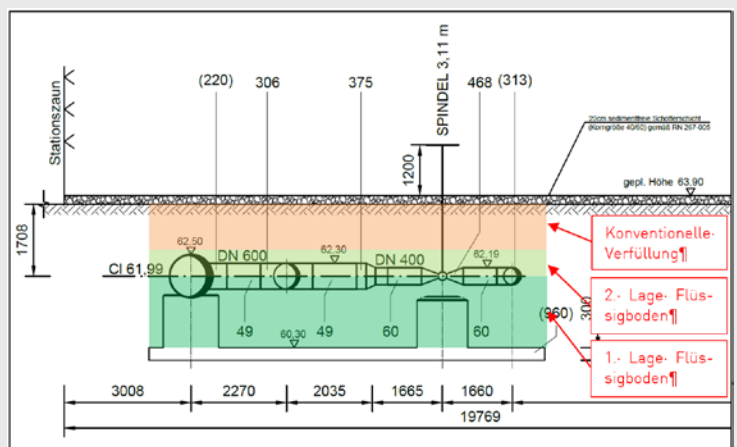


Bild 4: Schematische Darstellung der Verfüllung



Bild 5: VibroTruck der Firma Baudynamik Heiland & Mistler GmbH



Bild 6: Station Marbeck, Installation der Messsensoren

Eigenüberwachung

Die Eigenüberwachung erfolgte durch die bauausführende Fachfirma Anton Meyer bzw. ihre Kontraktoren (ARGE Los 3+5 Friedrich Vorwerk, PPS, Anton Meyer). Es hat eine Prüfung der Einhaltung der Vorgaben hinsichtlich der Herstellung, des Transportes und des Einbaus von Flüssigboden gegeben. Die Ergebnisse wurden im Bautagebuch dokumentiert.

Der Prüfumfang der Eigenüberwachung gilt für die folgenden Bereiche:

Herstellung:

- » Rezepturprüfung je Lieferung
- » Prüfung der Lieferscheine und Herstellerbescheinigungen

Transport:

- » Prüfung der Einbauzeit je Lieferung (in der Regel 90 min)

Einbau:

- » Prüfung der Witterungsbedingungen
- » Führung des Bautagebuches
- » Wasserzugaben sind mit Lieferanten und Kunden abzustimmen und zu dokumentieren
- » Prüfung des Ausbreitmaßes nach [1]
- » Prüfung der Schütthöhe (nicht mehr als 50 cm)

Fremdüberwachung

Die Fremdüberwachung des Flüssigbodens erfolgte gemäß [3] durch ein zugelassenes Prüfinstitut. Allgemein gilt: Ist der Flüssigboden nach erfolgter Eigenüberwachung eingebaut worden, sind einer oder mehrerer beliebiger Lieferungen während des Einbaus Proben zu entnehmen und gemäß den Anforderungen nach [3] zu prüfen. Die Anzahl der Proben richtet sich nach den zu prüfenden Eigenschaften und sollte bei Fremdüberwachung mit der Prüfstelle abgestimmt werden.

Die Qualitätssicherung wird durch die Dokumentation jeglicher Schritte des Flüssigbodeneinbaus sichergestellt. Folgende Unterlagen sollten für die Dokumentation des Flüssigbodeneinbaus zusammengetragen werden:

- » Flüssigboden-Rezeptur,
- » Herstellerbescheinigungen,
- » Lieferscheine,
- » Ergebnisse der Vor-Ort-Prüfungen (Ausbreitmaße, Charge),
- » Probenzuordnung zur Lieferung,
- » Ergebnisse Fremdüberwachung,
- » Lagevermessung vor, während und nach der Verfüllung.

Schwingungs- und Messverfahren

Für die Untersuchung einer möglichen schwingungsdämpfenden Eigenschaft des Flüssigbodens sind seismische Messungen durchgeführt worden. Bei seismischen Messungen wird der Untergrund mittels Schallwellen untersucht, um ein seismisches Echo zu erhalten. Ziel der Anregung außerhalb der Stationen ist es, die Schwingung an den Stationen aufzuzeichnen und zu vergleichen. Somit lässt sich feststellen, ob der Flüssigboden andere Schwingungseigenschaften aufweist als eine konventionelle Verfüllung.

Die Anregung einer typischen Schwingungsbeeinflussung kann durch oberirdische Anregung des Bodens mit Maschinenteknik erfolgen. Für das Projekt wurde ein „VibroTruck“ ausgewählt (siehe **Bild 5**).

Die seismischen Anregungen werden durch einen am VibroTruck montierten Kolben erzeugt. Mit dem VibroTruck lassen sich die eingebrachte Energie und der Frequenzbereich steuern. Zudem kann der VibroTruck an jeder zugänglichen Stelle platziert werden und ist somit deutlich flexibler einsetzbar als stationäre Energiequellen.

Für das Messverfahren wurden in diesem Feldversuch festgelegte Objekte aufgezeichnet. Die Messüberwachung erfolgte soll sowohl oberirdisch als auch unterirdisch. Unterirdisch wurden Dehnungsmesstreifen (DMS) an der Verrohrung appliziert. Oberirdisch wurden Schwingungsaufnehmer (Geophone) an den Absperrarmaturen befestigt (siehe **Bild 6**).

Zur Ermittlung der Positionen der DMS wurden im ersten Schritt die geometrischen und statischen Größen der Systeme

me aufgenommen (Abmessung, Geometrie, Lasten, Gewichte) und in einem entsprechenden Rechenmodell Schwinggeschwindigkeiten auf die Station aufgeprägt. Aus diesen Betrachtungen wurden, die an den stärksten schwingenden Positionen ermittelt, an welchen die DMS appliziert wurden.

Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Laborergebnisse für die Qualitätssicherung des Flüssigbodens, die Erkenntnisse des Flüssigbodeneinbaus und die Ergebnisse des Feldversuches an den beiden Standorten Tungerloh und Marbeck lassen folgende Erkenntnisse zu:

- » Flüssigboden stellt eine gute Alternative zur konventionellen Verfüllung von Armaturen/Streckenstationen dar.
- » Durch den Einsatz von Flüssigboden können Beschädigungen/Einwirkungen von konventionellen Verdichtungsverfahren auf Stationsrohrbauteile/-systeme vermieden werden.
- » Über die Rezeptur des Flüssigbodens lassen sich anwendungsspezifische Anforderungen steuern. Es ist möglich, mehrere Eigenschaften des Flüssigbodens gezielt durch dessen Rezeptur zu beeinflussen.
- » Flüssigboden kann zur lückenlosen Verfüllung von Stationen angewendet werden und sorgt zusätzlich für eine homogene Verdichtung (gleichmäßige Bettung).
- » Die Wiederaushubfähigkeit des Flüssigbodens mit normalen Tiefbauarbeitsmitteln ermöglicht eine problemlose spätere Instandhaltung der Stationssysteme.
- » Die beobachteten Unterschiede der Messwerte im Anregungsfrequenzbereich 1 – 10 Hz zwischen den beiden Standorten sind signifikant und deuten auf eine schwingungsdämpfende Wirkung des Flüssigbodens bei niedrigerfrequenten Schwingungen hin. Dieser Frequenzbereich ist beispielsweise typisch für Erdbeben.
- » Für den Frequenzbereich von > 10 – 30 Hz ergibt sich ein uneindeutiges Bild, das keine Interpretation hinsichtlich des Einflusses des Flüssigbodens erlaubt.

Zusammenfassung

Flüssigboden kann als Alternative zu konventionellen Verfahren zur Verfüllung von Rohrleitungsgräben und Baugruben von Armaturen- und Stationsanlagen eingesetzt werden. Flüssigboden eignet sich dabei besonders bei schwierigen und beengten Verfüllsituationen.

In Anbetracht eines Lastfalles auf Gastransportsysteme durch mögliche äußere Schwingungen, hat die OGE für die Station Marbeck der ZEELINK den Einbau von Flüssigboden durchgeführt und untersucht. Um die Verfüllung mit Flüssigboden mit einer konventionellen Verfüllung einer Station zu vergleichen, sind in einem Feldversuch die Stationen Marbeck und Tungerloh hierzu ausgewählt worden. Ziel der Anwendung war die Untersuchung der Eigenschaften des Flüssigbodens als Verfüllbaustoff allgemein und im Vergleich zu konventionellen Verfahren sowie die Ermittlung möglicher schwingungsdämpfender Eigenschaften.

Der Einsatz von Flüssigboden am Beispiel der Station Marbeck der ZEELINK zeigt, dass Flüssigboden als vielseitiger Verfüllbaustoff für Gastransportsysteme und deren Anlagen eingesetzt werden kann. Die Eigenschaften des Flüssigbodens sind je nach Rezeptur anpassbar. Eine schwingungsmindernde Eigenschaft des Flüssigbodens konnte im Rahmen der Anwendungsuntersuchung anhand eines Feldversuches im unteren Frequenzbereich von 1 – 10 Hz ermittelt werden.

Mit Flüssigboden kann eine homogene gleichmäßige Bettung von Gastransportsystemen erreicht werden. Die Wiederaushubfähigkeit des Flüssigbodens ermöglicht darüber hinaus mit einfachen Tiefbauarbeitsmitteln spätere Instandhaltungsmaßnahmen an den Stationssystemen.

Literatur

- [1] DIN EN 12350-5 „Prüfung von Frischbeton – Teil 5: Ausbreitmaß“ (2009/08)
- [2] Qualitätsrichtlinie Flüssigboden (QRF), Bundesqualitätsgemeinschaft Flüssigboden e. V. (2017/03)
- [3] Gütesicherung RAL-GZ 507: „Flüssigboden“, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. (2019/02)
- [4] Bericht Nr. 19320: „Forschungsvorhaben Flüssigboden“, aufgestellt von Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH (29.06.2021)

SCHLAGWÖRTER: Leitungsbau, Flüssigboden, zeitweise fließfähiger selbstverdichtender Verfüllbaustoff (ZFSV), Schwingungen

AUTOREN



Dipl.-Ing. **FRANZ-JOSEF KISSING**
Open Grid Europe GmbH, Essen
Tel. +49 201 3642 18226
franz-josef.kissing@oge.net



Dipl.-Wirt.-Ing. **ANDRÉ GRASSMANN**
Open Grid Europe GmbH, Essen
Tel. +49 201 3642 18173
andre.grassmann@oge.net



Dipl.-Ing. **JÖRG HIMMERICH**
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH,
Hannover
Tel. +49 511 28499 14
joerg.himmerich@veenkermbh.de