

Projekt zur Ertüchtigung und Weiterentwicklung

Begehbare Versorgungskanäle – Stand der Technik

Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekts wurden anhand einer Beispielplanung zur Erschließung und Ertüchtigung bestehender Versorgungskanäle Weiterentwicklungen erarbeitet, die den Stand der Technik verkörpern. Für die damit verbundenen Fragen und Ansätze wurden Bausteine und Modelle zur komplexen Beurteilung bis hin zu baulichen und ausrüstungsseitigen Einzellösungen untersucht.

Begehbare Versorgungskanäle¹⁾ sind eine Sonderform der Erschließung städtischer Siedlungsflächen sowie gewerblicher und industrieller Standorte, vorzugsweise mit hoher Versorgungsdichte oder wechselndem bzw. ergänzendem Medienbedarf. Nach der Inbetriebnahme stellen sie unterirdische bauliche Anlagen zum Betrieb von Leitungen und technischen Anlagen der Energie- und Wasserwirtschaft dar. Die bauliche Hülle schützt die Leitungen vor Einwirkungen aus dem Baugrund, dem Verkehr und durch benachbarte Bauprozesse.

Die Eigenschaft »begebar« bringt zum Ausdruck, dass eine ständige Revisionsbarkeit, die Bedienung von Anlagenkomponenten, z. B. Armaturen und sonstigen Ausrüstungen, sowie die Nutzung von Verlege-, Instandhaltungs- und Reservieräumen grabenlos möglich ist. Die Begebarkeit, nur für befugte Personen, muss nicht zwangsläufig durchgängig sein. Zur Historie, zum Bestand, zum Status und zur Bewirtschaftung existiert eine überschaubare deutschsprachige Literatur [1 – 5].

Versorgungskanäle werden wie Ingenieurbauwerke nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik gebaut und instand gehalten. Für den zeitweiligen Aufenthalt von Personen zur Inspektion, zur Bedienung oder zu Arbeiten im Versorgungskanal besteht i. d. R. ein Betriebs- und Sicherheitsmanagement auf der Grundlage der Arbeitsschutzgesetzgebung und in Anlehnung an das Arbeitsstättenrecht. Kurzstrecken, meist in Querung anderer Infrastrukturen, können davon ausgenommen sein.

Vor- und Nachteile der Verlegung und des Betriebs von Rohrleitungen und Kabellinien in Versorgungskanälen wurden bereits mehrfach publiziert. Der Bau oder die weitere Unterhaltung eines begehbaren Versorgungskanals kann, wie an Beispielen nachweisbar, im öffentlichen Interesse liegen. Jahrzehntelange Betriebserfahrungen²⁾ in Deutschland lassen die langfristigen wirtschaftlichen Vorteile des Erschließungssystems erkennen.

Der im Rahmen des von der DBU [6] geförderten Projekts und unter Mitwirkung von Kooperations- und Projektpartnern³⁾ dokumentierte Entwicklungsstand ermöglicht es, die fachlichen Grundlagen für die Planung, den Bau und Betrieb von Versorgungskanälen über bauliche und ausrüstungsseitige Lösungen sowie eine verbesserte Regelungstiefe in allen Phasen zu verbessern. Nachfolgende Kurzbeschreibungen geben einen Überblick zu Entwicklungsrichtungen und -themen.

1) u. a. Leitungsgang, Sammelkanal, Leitungstunnel, Infrastrukturkanal, Kollektor, Medienkanal, Mehrspartenkanal, Leitungsdüker

2) Fachkreise: Arbeitskreis Begehbare Leitungsgänge bei der GSTT e. V. (German Society for Trenchless Technology) und der Interessengemeinschaft Begehbare Versorgungskanäle (IBV).

3) Kooperationspartner: Vattenfall Europe Wärme AG, Berlin, Elektroenergieversorgung Cottbus GmbH, Cottbus, Drewag Netz GmbH, Dresden, Stadtwerke Jena Netze GmbH, Jena, Netz Leipzig GmbH, Leipzig, Sammelkanal Betriebs- und Beteiligungsgesellschaft Suhl mbH, Suhl.

Projektpartner: RAC Service GmbH, Chemnitz, Ingenieurbüro für Baustatik Frank Lärm, Halle (Saale), Entellgenio GmbH, München, Zila GmbH, Suhl, Fanalmatic GmbH, Weißandt-Görlau.

Rechtliche Einordnung

Im deutschen Recht bestehen keine spezialgesetzlichen Regelungen, die explizit den Versorgungskanal oder Synonyme mit den zutreffenden Eigenschaften zum Gegenstand haben. Vor allem die bauordnungsrechtliche Einordnung ist nach dem jeweiligen Landesrecht differenziert. Gleichwohl existieren rechtliche Gestaltungsgrundlagen im Rahmen der Zulassungsverfahren, der Bauabwägung oder eines Anpassungsverlangens zum Betriebs- und Sicherheitsniveau.

Zur Umsetzung, ob Bau oder Weiterbetrieb, eignen sich nur Planungselemente, die von Grundstückseigentümern, Konzessions- oder Gestattungsgebern, Behörden, Investoren und den Nutzern gleichermaßen anerkannt werden. Ein schrittweises Vorgehen, Transparenz und Nachvollziehbarkeit besonders in der Bilanzierung von Vor- und Nachteilen sind dabei wichtige Ei-



Dipl.-Ing. (FH) **Bernd Heinemann**, Bereichsleiter, Stadtwerke Jena Netze GmbH, Jena, und Sprecher der Interessengemeinschaft Begehbare Versorgungskanäle (IBV);



Dipl.-Ing. **Klaus-Peter Reim**, Kaufmännischer Geschäftsführer, Giba mbH, Markranstädt, und stellvertretender Sprecher IBV

genschaften. Zur Verbesserung der Akzeptanz sind jedoch eine verbesserte Richtlinienarbeit und baurechtliche Vorgaben sehr förderlich [7].

Erschließungsplanung

Neben der üblichen Abfolge von Planungsschritten wie Ermittlung des Medienbedarfs in Zeiträumen, Trassierung, Tiefenlage, kurz- bis langfristige Anschlussbedingungen kann die Gestaltung der Kanalkubaturen mit speziellen 3D-Grafik-Tools geschehen. Dabei entstehen u. a. Abzweigungswerke mit achteckiger Grundfläche zur Reduzierung des umbauten Raums und Vermeidung unzugänglicher Räume. Die Optimierung von Verlege-, Bedien-, Montage- und vor allem Reserveräumen entscheidet langfristig über deren effiziente Nutzung, das Sicherheitsniveau und letztlich die Wirtschaftlichkeit.

Bauweisen und Bauverfahren

Die Anordnung von Konstruktions- und Bauelementen sowie die Anwendung der Bautechnologie findet entsprechend dem Normenwerk nach den anerkannten Regeln der Technik für erdberührte Ingenieurbauwerke statt. Zur Größe und Funktionalität sind eine Vielzahl an Bauteilparameter heranzuziehen. Im Vergleich zur klassischen Bauplanung kann mit der bauteilbezogenen BIM-Methode ein nahezu reales Bauwerksmodell als 3D-Modell erzeugt werden, mit dem alle fach- und zeitraumübergreifenden Zusammenhänge anschaulich dargestellt werden können. Die Projektpartner können im selben Modell parallel arbeiten, Daten in jeder Projektphase abrufen und fortschreiben.

Um deutliche Vorteile eines Versorgungskanals wie Trassenbündelung über mindestens 80 Jahre Nutzungsdauer sowie flexible Leitungsführung in einem vorgegebenen unterirdischen Bauraum zu sichern, können dabei alle Prozesse von der Erstverlegung, über die Instandhaltung bis zur Demontage, Komplettierung oder zum Austausch im Leitungsbestand anschaulich dargestellt werden. Änderungen im Modell führen automatisiert zur Änderung von Stücklisten, zum Kosten-



Historischer Fernwärmekanal (Inbetriebnahme 1900): nach wie vor in Betrieb und durch weitere Medien komplettiert



Versorgungskanal, vorrangig für Fernwärmeleitungen und weitere Medien

abgleich sowie zur Aktualisierung der Revisionsunterlagen. Damit wird ein anpassbares Verlegesystem mit moderner Planungsmethodik verknüpft.

Bautechnik

Neben dem Hauptbaustoff Stahlbeton sind nur wenige alternative meist metallische Sonderkonstruktionen oder historische Verbund-

konstruktionen bekannt. Im Zuge der Ertüchtigung bzw. des Bauteilersatzes wird künftig die Substitution von Bewehrungsstahl zur Verbesserung der Bauteileigenschaften und der Dauerhaftigkeit mit Stahlfasern, Carbonegewebe oder Glasfaserverbundbewehrung an Bedeutung gewinnen. Dabei sind besondere betriebliche Prozesse im Versorgungskanal zu beachten (z. B. Heißwasseraustritt unter hohem

Druck bzw. hoher Temperatur), die die geforderten Bauteileigenschaften prägen.

Ein Zielkonflikt in puncto Dauerhaftigkeit besteht in der Bemessung von Sohl-, Wand- und Deckenkonstruktionen – ob als Fertigteil oder in Ortbeton. Fast alle Bauteile erfahren im Nutzungszeitraum eine Schwächung durch Verdübelung von Haltekonstruktionen, nachträgliche Leitungsdurchdringungen oder zusätzliche Bauteilöffnungen. Dazu sind die Kabelplanung, Rohrstatik, Gefälleplanung und der Einbau betrieblicher Einrichtungen u. a. zur Lüftung und zum Brandschutz mit der Baukonstruktion bzw. dem Tragwerksmodell abzustimmen.

Eingeschlossen sind eine sorgfältige Fugenplanung nach Lastfällen und in Abhängigkeit von der Bauweise und Bauverfahren. Im gleichen Anspruch zur Dauerhaftigkeit wurden im Rahmen des Förderprojekts Fugenkonstruktionen berücksichtigt, die zunächst nach Definition dicht, im Laufe der Nutzung zerstorungsfrei prüfbar und im Bedarfsfall nachträglich abdichtbar sind. Diese wurden für den Einsatzfall Versorgungskanal weiterentwickelt und als nachträgliche Abdichtung gegen alle Lastfälle in einer Werknorm [8] beschrieben.

Bei einer nachträglichen grabenlosen Zuführung erdverlegter Leitungen, z. B. Hausanschlüsse, wird das Tragwerk örtlich geschwächt, wenn nicht schon zur Bauphase mit der Bewehrungsanordnung dieser Einsatzfall berücksichtigt wird. Dazu wurde ein »Zielfenster« im Wandbereich als Rahmenelement so bewehrt, dass der Versorgungskanal als Zielschacht einer Vortriebsstrecke dienen kann. Die dazu vorliegende Statik ermöglicht eine Durchdringung aller üblichen Nennweiten sowie Verlängerung des Versorgungskanals ab einer dafür vorgesehenen Wandscheibe.

In der ingenieurseitigen Begleitung von Instandsetzungs- und Umbaumaßnahmen sind i. d. R. teure Sonderlösungen zu vermeiden. Dazu wurde ein Fertigteillemente-Sortiment entwickelt, das bei der nachträglichen Montage als Deckenplatte, Decken- oder Seitenschacht zur Anwendung kommen kann, komplettiert mit Fugen- und Dichtungslösungen für typische Lastfälle

Auslastung der Verlegeräume

In der Grundlagenliteratur [1–4] ist die prinzipielle Anordnung von Rohrleitungen und Kabel schematisch vorgegeben. Für eine bestmögliche Auslastung des Verlegeraums stellt sich die Frage nach den Mindestabständen der Leitungen zueinander. Dazu sind die unterschiedlichen Anforderungen im Nutzungszyklus der Leitungen zu beurteilen. Neben mechanischen, chemischen oder elektromagnetischen Einwirkungen sind es die notwendigen Freiräume für Bedien-, Wartungs- und Montagetätigkeiten, für den Flucht- und Rettungsweg sowie zur Vermeidung von Beeinträchtigungen der Leitungen bei Betriebsstörungen anderer Leitungen, z. B. Leckagen.

Auf der Grundlage bereits geregelter Mindestabstände, z. B. zwischen Niederspannungs- und Kommunikationskabeln, wurden Tabellen erarbeitet, die die Mindestabstände der Medien zueinander wie auch zu Kanalsohle, -wand, -decke und dem Bediengang vorgeben. Bei bestimmten Parametern bedarf es einer Sonderprüfung, z. B. Verlegung von Mittel- und Hochspannungskabeln. Die Werte wurden in eine Werknorm [9] übernommen, ergänzt durch Abstände für gas- und wasserdichte Durchdringungen der baulichen Hülle sowie Brandwanddurchführungen.

Sicherheitstechnik

Die Aus- und Nachrüstung von Sicherheitstechnik stellt für viele Betreiber von Versorgungskanälen seit mehr als zehn Jahren [10] einen Schwerpunkt dar, wobei die Trennung zwischen betrieblicher Einrichtung und Sicherheitstechnik fließend ist. Generell gelten begehbare Versorgungskanäle als unterirdische Räume mit spezifischen jedoch nicht mit besonderen Gefährdungen. Mit dem hohen Stellenwert einer Gefährdungsbeurteilung für den Betrieb der Kanäle sind alle typischen Gefahrenarten, die notwendigen Schutzmaßnahmen und Restrisiken im Detail weitgehend bekannt [11].

Für die klassischen betrieblichen Einrichtungen zur Lüftung, Entwässerung und Trittsicherheit, für Betriebsstrom und Beleuchtung so-

wie zum Fluchtweg, Brandschutz, Schutzpotenzial und zur Erdung wurden Details weiterentwickelt, um das Gesamtsystem zu optimieren. Aus der Vielzahl an Details im Rahmen der Arbeitsgruppentätigkeit der Interessengemeinschaft Begehbare Versorgungskanäle (IBV) werden hier nur einige genannt.

Für die Komplettierung bzw. Nachrüstung einer wirksamen Lüftungsanlage wurden jahrelang die Strömungsverhältnisse bei natürlicher und technischer Lüftung untersucht. Im Ergebnis liegen Messberichte in Abhängigkeit der Witterung, der Kubaturen und Belegung vor, die zur Optimierung der Lüftungsanlagen beitragen. Arbeitsschritte und bauliche Details wurden in [9] übernommen.

Zur Entwässerung von Flächen und Räumen wurden Bemessungsgrundsätze vorgegeben, die vor allem die Ereignishäufigkeit von Leckagen bzw. Wassereintrüben den Bau- und Folgekosten gegenüber stellen. Für die Betriebsstromanlage wird ein Ausrüstungsnormativ auf der Grundlage der Basisnorm VDE 0100 vorgegeben. Die Beleuchtungsstärke sollte je nach Messpunkt bei rd. 100 lx liegen, um somit den Flucht- und Rettungsweg ausreichend kennzeichnen zu können.

Für den Bediengang und zum Erreichen zeitweiliger Arbeitsräume liegt ein Sortiment an Stahleinbauten vor, das die Trittsicherheit erhöht, komplettiert mit Lüftungs- und Entwässerungsbauteilen. Für die Sicherung der vertikalen Begebarkeit sowie beim Lastenhub werden die bekannten Vorgaben zum Anbringen von Leitern und Schachtabdeckungen im Detail bzw. je Anwendungsfall präzisiert, gepaart mit den Anforderungen zur Dauerhaftigkeit und der Kennzeichnung des Fluchtwegs. Die Verbesserung der Schutzpotenzial- und Erdungsanlage konzentriert sich auf eine Abfolge an Wartungs- und Komplettierungsschritten entsprechend der Belegungsänderung im Laufe der Nutzung.

Für die Beschilderung und Markierungen im Versorgungskanal werden lang nachleuchtende Schilder und Kennzeichnungen bevorzugt. Europannorm-konforme Piktogramme mit weiter entwickelten Leuchtdichten werden nach einheitlichen

Befestigungskriterien verwendet. Mit einer Prüfung der Sichtbeziehungen nach Beleuchtungsausfall und einer Mindestanregungszeit des nachleuchtenden Materials werden die Anforderungen für den Flucht- und Rettungsfall weitgehend erfüllt und sind in [9] beschrieben.

Mit dem Stellenwert des Versorgungschanals als bauliche Anlage bestehen Anforderungen an den baulichen Brandschutz, die vor allem in Wechselwirkung mit der Lüftungsanlage auszuführen sind. Beim Neubau oder der Nachrüstung von Brandwänden ist immer von engen Räumen auszugehen. Deshalb sind Typenlösungen und für den Einzelfall zuzulassende Schottsysteme bzw. Brandschutztüren zu verwenden.

Bei Auswahl der Brandabschnittstrennungen sind rohrstatische Berechnungen und die Bemessung zusätzlicher Unterstützungskonstruktionen vorzunehmen. Die mögliche Anwendung von Brandsperren und Brandschutzbandagen um Rohre und Kabel sowie Brand- und Rauchschutzklappen komplettieren die Brandschutzerfordernisse. Die Systematisierung und Typisierung der Erzeugnisse unter den speziellen Anforderungen wurden in [9] aufgenommen.

Überwachungs- und Steuerungstechnik

Mit dem Ziel einer dauerhaften Gewährleistung der Versorgungssicherheit halten automatisierte Überwachungs- und Steuerungssysteme auch in derartigen baulichen Anlagen Einzug.

Zu den wichtigen Komponenten gehören:

- Überwachung aller Zutrittsstellen bzw. Einwirkungen über benachbarte Räume durch Lagekontakte bzw. Sensoren zur Temperatur- und Rauchdetektion,
- Leckagedetektion bei Infiltrationen, Tagwassereintrag oder Handhabungsverlusten bei Spül- und Entleerungsvorgängen (Wassermelder),
- stationäre Messungen etwaiger Schadstoffanreicherungen (üblich mobile Messung),
- Steuerung der Betriebsstrom-, Beleuchtungs- sowie der Lüftungsanlage.

Gefahrenwarnanlagen in Summe mehrerer Komponenten haben sich in einigen Versorgungschanalnetzen bereits bewährt. Die Weiterentwicklungen konzentrieren sich auf einen modulartigen Aufbau, moderne Touch-Display-Menüs und teils web-basierte Varianten fürs Smartphone. Dabei werden immer mehr

Ereignisse berücksichtigt, u. a. bei potenziellen Betriebsstörungen oder personellem Fehlverhalten.

Am Beispiel einer klimagesteuerten Lüftungsanlage soll kurz die Regelungstiefe verdeutlicht werden. Da die Ventilatoren i. d. R. nicht im Dauerbetrieb sind, wird ein Betriebsregime mit anteiliger natürlicher und technischer Lüftung über ein zentrales Steuergerät programmiert. Unter Berücksichtigung der Abhängigkeiten zur Witterung benachbarter Außenräume wird ein Optimum in der Lüfter- und Regelklappensteuerung bei Normal-, Instandhaltungs- und Havariebetrieb gesucht, das eine hinreichende Lüftung [12] ermöglicht.

Betriebsmanagement

Unabhängig verschiedener Rechtsformen und Betriebsführungsmodelle besteht allgemein die Aufgabe, den Betrieb des Versorgungschanals ordnungsgemäß, also gemäß einer Betriebsordnung, zu organisieren. Die Betriebsführung darf weder eine Überregulierung darstellen noch ein Organisationsverschulden ermöglichen und muss letztlich zur Senkung der Betriebskosten beitragen.

Hauptbestandteile der Betriebsorganisation sind eine regelmäßig aktualisierte Betriebsordnung mit allen notwendigen Anlagen (Form-



Rohbau eines Versorgungschanals in geschlossener Bauweise



Neubau eines Versorgungschanal-Bauwerks in offener Bauweise

blätter wie Zutrittsberechtigung, Erlaubnisscheine, Befugnisse und Unterweisungen, Bestands-, Betriebs- und Einsatzpläne sowie Dokumentationspflichten). Hinzu kommen der »Sicherheitsplan« (mit wiederholender Gefährdungsbeurteilung und Meldeschema bei Betriebsstörungen, Unfällen oder sonstigen außergewöhnlichen Ereignissen) sowie eine laufende Instandhaltungsplanung.

Zur Bewirtschaftung der Versorgungskanäle sind alle Leitungen bzw. Medien lage- und längengenau sowie nach Eigentümern zu erfassen. Den Prozess regelt die Betriebsordnung. Die Kosten- und Bilanzrechnung ist aufgrund der teilweise sehr unterschiedlichen Betriebsstrukturen kaum zu vereinheitlichen. Für Vertragsgestaltung und Mietberechnung liegen Erfahrungen vor. Ein Vergleich aller Kostenarten geschieht im Rahmen der Facharbeit.

Beim Aufbau bzw. Abgleich einer eigenständigen Betriebsführung wie auch in der Planungsphase eines Neubauvorhabens ist eine Kosten-Nutzen-Untersuchung (KNU) bzw. eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unerlässlich. Bei der KNU werden aus der Fachliteratur bekannte Algorithmen aufgegriffen. Mit einer fundierten Gewichtung und Wertung der Ziele und Varianten, die auch subjektiv geprägt sind, werden dennoch die Entscheidungsgrundlagen im Spannungsfeld betriebs- und volkswirtschaftlicher Zielgrößen transparent gemacht.

Mit dem »Simulationsmodell Versorgungskanal« wurde auf der Grundlage eines praxiserprobten Asset-Modells eine Methodik zur langfristigen Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Versorgungskanälen entwickelt. Hauptziel ist es, die bauliche Investition oder die langfristigen betrieblichen Aufwendungen anhand wechselnder Zielgrößen zu bewerten. Die dynamische Simulation ermöglicht das »Durchspielen« und »Optimieren« verschiedener Varianten bzw. Szenarien, um so die langfristigen Wirkungen zu analysieren und zu bewerten. Damit werden wichtige Einflussgrößen, die i. d. R. in unterschiedlichen Bilanzkreisen auftreten, identifiziert, eingeordnet und bewertet. Eine an-



Vorbereitung der Nachrüstung im Leitungsbestand, hier mit Hochspannungskabel

schauliche grafische Aufbereitung, z. B. der langfristig kumulierten Kosten verschiedener Bauweisen, kann deutlich zur Entscheidungsfindung beitragen. Die Kombination aus jahrelanger Spezialanalytik mit einem bewährten Modellansatz stellt eine wertvolle Weiterentwicklung dar [13].

Fazit

Unterirdische begehbare Versorgungskanäle bzw. Leitungsgänge sind, sofern deren Vorteile über die gesamte technische Nutzungsdauer wirken können, ein klassisches Beispiel nachhaltigen Bauens. Zur Verbesserung der Akzeptanz und der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden im Rahmen der Facharbeit der IBV der Stand der Technik bzw. der Stand des Wissens regelmäßig aufbereitet und interessierten Fachkreisen mitgeteilt [14].

Unsicherheiten zum Rechtsrahmen sowie zur Anwendung von Fach- und Sicherheitsstandards, dazu fehlende Kostentransparenz unterschiedlicher Verursacher, besonders zu vermiedenen Kosten, sind die wichtigen Gründe für eine allgemein zögerliche Auseinandersetzung mit dem Versorgungskanal. Es bleibt für die weitere Gestaltung einer modernen technischen Infrastruktur zu hoffen, dass Gesetzgeber,

Versorgungsträger, Kommunen und Fachorganisationen die generelle Alternative, Versorgungsleitungen in einer separaten baulichen Hülle zu verlegen, zu betreiben und den Leitungsbestand grabenlos und kosteneffizient nach Bedarf zu ergänzen oder auszutauschen, ernsthafter im Zieldreieck Versorgungssicherheit – Dauerhaftigkeit – Wirtschaftlichkeit in Betracht ziehen. ■

Literatur

- [1] Komplexrichtlinie Sammelkanäle, Sonderheft 1, Reihe Ingenieur- und Tiefbau, Bauinformation Berlin, 1976.
- [2] Bau und Betrieb begehbare Leitungsgänge – Statusbericht, GSTT – Informationen Nr. 6, Berlin, September 1997.
- [3] Stein, D.: Der begehbare Leitungsgang. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2002.
- [4] Verlegung von unterirdischen Leitungen, Teil 5, Leitungstunnel, Schweizer Norm, Vornorm 532205, SIA, Zürich, 2003.

- [5] Güneysu, S. I.: Bündelung unterirdischer Versorgungsleitungen in begehbaren Leitungsanlagen, Rechtsrahmen für Planung, Bau und Betrieb. Internationale Göttinger Reihe, Band 49, Oktober 2011.
- [6] Integrale Planung zur Demonstration eines weiterentwickelten unterirdischen begehbaren Versorgungskanals für Medienleitungen ..., gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, DBU-Az 31331, Abschlussbericht Giba mbH, Markranstädt, 15. Mai 2017.
- [7] Rechtliche Einordnung begehbare Versorgungskanäle, Positionspapier der IBV – Entwurf, Stand 28. Februar 2017.
- [8] Griebenow, S.: Bauliche Instandsetzung begehbare Versorgungskanäle, Teil Fußgeninstandsetzung, Werknorm der IBV, Stand: Februar 2017.
- [9] Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von begehbaren Versorgungskanälen, Werknorm TN A 2.07, Drewag, Drewag Netz, Enso, Enso Netz, Oktober 2016.
- [10] Planung Bau und Betrieb von begehbaren Leitungsgängen, Leitfaden Teil 3: Sicherheit in begehbaren Leitungsgängen, GSTT-Informationen, Juli 2006.
- [11] Reim, K.-P.: Muster-Gefährdungsbeurteilung zum Betrieb begehbare Versorgungskanäle. DVGW-Schulungsmaterial, 2009.
- [12] DGUV-Regel 103-002 Fernwärmeverteilungsanlagen, Ausgabe Februar 2011.
- [13] Spitzer, H., Reim, K.-P.: Bewirtschaftung begehbare Versorgungskanäle mit Unterstützung eines dynamischen Asset-Simulationsmodells. Bi Umwelt Bau, 2016, H. 5, S. 54 – 59.
- [14] Arbeitsgruppentätigkeit, Seminare und Werknormung im Rahmen der Interessengemeinschaft Begehbare Versorgungskanäle (IBV), www.utility-tunnel.com.

bernd.heinemann@stadtwerke-jena.de

kp.reim@giba-online.de

www.utility-tunnel.com