

Verlegung von Rohrleitungen in Verkehrsflächen

Beitrag zur Qualitätssicherung bei der Verlegung innerhalb von Verkehrsflächen*)

In den letzten Jahren haben zwei Begriffe im Zusammenhang mit Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung erdverlegter Rohrleitungssysteme an Bedeutung gewonnen, die für die technische und wirtschaftliche Beurteilung und Entscheidungsfindung maßgebend sind. Es sind dies die Begriffe "Qualität" und "Kosten". Die Vorgabe für die Bauabteilungen der Versorgungsunternehmen lautet im allgemeinen: "Qualität erhöhen" und "Kosten senken". Im ersten Ansatz erscheinen diese beiden Vorgaben als Widerspruch.

Forschungsprojekte der Österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach - ÖVGW - haben jedoch gezeigt, dass durch die Verknüpfung von experimentellen und analytischen Untersuchungen sehr effiziente Informationen über das Strukturverhalten erdverlegter Rohrleitungen sowohl beim Bau als auch im Betrieb zu erhalten sind, die wichtige Erkenntnisse zu den Forderungen "Qualität erhöhen" und "Kosten senken" liefern können. Eine wesentliche Voraussetzung für die Betrachtung ist dabei die Analyse des Gesamtsystems "Fahrbahn-Boden-Rohr". Ein weiterer wichtiger Punkt im Hinblick auf die Forderungen "Qualität erhöhen" und "Kosten senken" ist die Abstimmung der Forderungen der Straßen-baulastträger bei der Rohrgrabenverfüllung und der Fahrbahnwiederinstandsetzung auf die Anforderungen erdverlegter Rohrleitungssysteme [2].

Analysen des Leitungsbaues führen zu dem übereinstimmenden Resultat, dass die Kosten für den Straßen- und Tiefbau dominieren und demzufolge hier nach Kostensenkungspotentialen zu suchen ist. So entfallen in der Ortsversorgung nach Fleckner [3] 80% aller Kosten auf das Aufnehmen und Wiederherstellen der Oberflächen sowie das Ausheben und Wiederverfüllen der Leitungsgräben. In der Abwasserableitung können diese Kostenanteile wegen der Tiefe der Leitungsgräben bis 90 % erreichen. Aber nicht nur die Kosten lenken das Interesse auf die anteiligen Straßen- und Tiefbauarbeiten, sondern auch eine Reihe falsch verstandener und nicht erfüllbarer technischer Anforderungen aus dem Vorschriftenwerk. So kritisiert Zeller [4,5] die Praxis des kostenaufwendigen Bodenaustausches vieler Straßenbauämter, welche den Austausch bindigen Bodens gegen leicht verdichtbare nichtbindige Böden oder gebrochenes Gestein mit bekannter Sieblinie verlangen, wobei außer Acht gelassen wird, dass jede Änderung der Gleichförmigkeit des Straßenunterbaues zu ungleichen Bodenbewegungen der Straßenoberfläche mit unausbleiblichen Rissbildungen führt. Durch den Einsatz moderner computerunterstützter Simulationsmethoden lässt sich, unter Verwendung realer, systemrelevanter Kennwerte, das Strukturverhalten der Komponenten des Systems "Fahrbahn-Boden-Rohr" effizient erfassen. Die Aufgabe besteht vor allem darin, die Interaktionen zwischen den Komponenten des Systems "Fahrbahn-Boden-Rohr" insbesondere beim Einbau ausreichend transparent darzustellen. Ohne diese Transparenz sind klare Entscheidungen nicht möglich. Dies hat sich beispielhaft bei der Analyse des Einbauvorganges von PE-Rohren gezeigt, wo aufgrund der Erkenntnisse aus Messungen durch rechnerische Simulationen bewiesen werden konnte, dass die Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung im Zuge des Einbauvorganges weitaus höhere Belastungen in den Rohren hervorruft, als über eine Mindestnutzungsdauer der Rohre von 50 Jahren im Betrieb zu erwarten ist. In dem Zusammenhang ist anzumerken, dass in keinem der einschlägigen Regelwerke und Richtlinien die Belastung der Rohre durch die Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung berücksichtigt wird, demnach also wesentliche Belastungsmechanismen nicht erfasst sind.

Messungen des Verformungszustandes erdverlegter Kunststoffrohre unmittelbar nach dem Einbau, mit lagenweiser Verfüllung und Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung, haben gezeigt, dass Verformungen in den Rohren auftreten können, die weit über den üblichen Werten für den in den einschlägigen Regelwerken und Richtlinien enthaltenen Belastungszustand "Erdlast" liegen. Rechnerische Simulationen zeigen, dass beim Einbau der Rohre durch die Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung, entsprechend dem Druck-Setzungsverhalten des Verfüllmaterials, eine bleibende Verspannung der Verfüllung in der Leitungszone bewirkt wird, wodurch auch ohne entsprechende Auflasten hohe, nicht reversible Verformungen der Rohre eintreten können. Der in den einschlägigen Regelwerken und Richtlinien enthaltene Begriff "Erdlast" ist im Allgemeinen nur für eine Schüttung der Rohrgrabenverfüllung gültig.

Für eine ordnungsgemäße Verdichtung der eingebrachten Rohrgrabenverfüllung, entsprechend den Anforderungen der Straßenbaulastträger, ist eine Verdichtungslast zu berücksichtigen. Für die Strukturanalyse erdverlegter Rohrleitungen scheint es dementsprechend notwendig, statt der Erdlast eine entsprechende Einbaulast anzusetzen, die wesentlich größer als die Erdlast sein kann. Allgemein gültige Werte für Einbaulasten liegen zur Zeit noch nicht vor.

Die Belastung erdverlegter Rohrleitungen durch indirekte Lasten ist die Folge der erzwungenen geometrischen und mechanischen Anpassung der Rohre an die Umgebungsverhältnisse im erdverlegten Zustand. Dieser Anpassungsvorgang bewirkt Reaktionslasten vom Boden auf die Rohre, die als indirekte Lasten bezeichnet werden. Diese Belastungsgruppe lässt sich zwar einfach beschreiben, die Erfassung sowohl der Einwirkungen als auch der Auswirkungen auf erdverlegte Rohre ist aber relativ schwierig.

Bei der Verfüllung von Rohrgräben sind die beiden Bereiche - Leitungszone und Verfüllzone - zu unterscheiden. Für diese beiden Bereiche sind entsprechend der Funktionalität unterschiedliche Anforderungen für die Verfüllmaterialien zu beachten. Für die Verfüllung der Leitungszone sind vor allem die Anforderungen der Ver- und Entsorgungsunternehmen in Bezug auf die Bettung und Einbettung der Rohre im Rohrgraben maßgebend, wogegen für die Verfüllung der Wiederverfüllzone die Anforderungen der Straßenbaulastträger in Bezug auf die Fahrbahninstandsetzung maßgebend sind. Im Folgenden werden vor allem die Anforderungen und die Eigenschaften der selbstverdichtenden Rohrgrabenverfüllmaterialien, wie z. B. der Boden-Mörtel, für die Leitungszone betrachtet.

Das wesentliche Merkmal der selbst-verdichtenden Rohrgrabenverfüllmaterialien für die Verfüllung der Leitungszone im Rohrgraben besteht in der flüssigen Einbringung im Rohrgraben, wodurch eine gleichmäßige Bettung der Rohrleitung in Rohrlängsrichtung und eine gleichmäßige Einbettung der Rohre über den Rohrumfang erzielt werden kann, was bei den konventionellen Verfüllmaterialien, wie z. B. Sand oder Kies, im Allgemeinen ohne zusätzliche Maßnahmen und damit Einwirkungen auf die Rohre nicht erreicht wird[2].

Die Autoren

Doz. a.R. Dr.-Ing. Dr.-Ing. habil.

Chris-

toph Batereau, Bauhaus-Universität

Wiener und Dr.-Ing. Wolfgang

Berger, Forschungs-

Institut für Tief- und Rohrleitungsbau

Weimar e.V.

' Der Beitrag basiert auf einem Vortrag, den die Autoren anlässlich des 4. Sächsischen Bautextilien-Symposiums "Bautex 2000" im Januar 2000 in Chemnitz gehalten haben.



Abb. 1: Netzversuch Stadtwerke Weimar, Einbau von Verfüllmörtel in die Leitzone einer KMR-Leitung 2 x DN 150 in Nebeneinanderverlegung

Geosynthetische Trenn- und Filterelemente

Häufig tritt der Fall ein, dass der Bodenaushub aus Leitungsgräben infolge ungünstiger Witterungsverhältnisse (Aufweichung) nicht wieder zur Rückverfüllung eingesetzt werden kann, da

- keine ausreichende Verdichtbarkeit gegeben ist,
- aus mangelhafter Verdichtbarkeit mit großen Verformungen nach Verfüllung des Leitungsgrabens, auch nach längeren Zeiträumen, gerechnet werden muss.

in diesen Fällen wird ein Fremdmaterial eingesetzt, welches

- gut verdichtbar sein soll,
- in der Nähe der Baustelle (geringe Transportentfernung) anstehen soll und
- bei auftretendem Sickerwasser ausreichend filterstabil gegenüber den natürlich anstehenden Böden ist.

Um der ersten und zweiten Forderung gerecht zu werden, kommen häufig nicht-bindige mineralische Schüttstoffe zum Einsatz, wobei der dritten Forderung nach Filterstabilität häufig nicht die erforderliche Aufmerksamkeit gewidmet wird.

Ist jedoch bei vorhandenem Sickerwasser die Filterstabilität nicht gewährleistet, muss mit einem Eintritt der feineren Bodenpartikel in die Poren der grobkörnigen Verfüllung gerechnet werden, was zur

Folge hat, dass in den angrenzenden Bereichen der Leitungsgräben durch den Massentransport in die Porenräume der Grabenverfüllung Hohlräume bzw. Auflockerungszonen entstehen. Diese Hohlräume bzw. Auflockerungszonen führen ihrerseits zu Verformungen des Bodens neben dem verfüllten Leitungsgräben, also zu einem Effekt, der durch den Einsatz der groben Verfüllmassen im Leitungsgrabenbereich selbst vermieden werden soll bzw. vermieden worden ist.

Um diese Schäden zu vermeiden, hat sich der Einsatz von geosynthetischen Trenn- und Filterelementen im Kontakt zwischen natürlich anstehendem Boden und mineralischer Rückverfüllung als eine sichere Maßnahme erwiesen.

Bei dem Einsatz geosynthetischer Trenn- und Filterelemente sind folgende Anforderungen zu stellen:

- die wirksame Porengröße $D_{90} < 0,1$ mm,
- mindestens Robustheitsklasse 3 und
- möglichst große Dehnung bei geringer Lastaufnahme (wirksame Porengröße muss bei Dehnung erhalten bleiben). Diesen Forderungen liegen folgende

Überlegungen zugrunde:

- Für schwachbindige, stark schluffige Böden kann für hydraulisch gering beanspruchte Fälle eine Bemessung der Filterstabilität entfallen, wenn die wirksame Porengröße $D_{90} < 0,1$ mm beträgt. Da schwachbindige, stark schluffige Böden diejenigen Böden mit der größten Kornmobilität sind, gilt, dass im Falle aller anderen Bodenarten eine geringere Gefährdung gegenüber Kontakterosion besteht. Ein geosynthetisches Material mit der wirksamen Porengröße von $D_{90} < 0,1$ mm ist somit für alle auftretenden Bodenarten filterstabil.

Der Nachweis der Wasserdurchlässigkeit kann für geosynthetische Trenn- und Filtermaterialien im Rohrleitungsbau entfallen, da sich aus einem möglichen Aufstau in diesen Fällen keine nachteiligen Folgen ergeben. Bei dem Verlegen von Rohrleitungen handelt es sich um Arbeiten, bei denen eine Qualitätskontrolle bei dem Einbau der geosynthetischen Materialien und dem anschließenden Prozess der Rückverfüllung nur mit unverhältnismäßigem Aufwand möglich ist. Bei den Verdichtungsarbeiten der Grabenrückverfüllung ist keine Kontrolle auf etwaige Beschädigungen der geosynthetischen Materialien möglich. Es ist deshalb von einer Robustheitsklasse > 3 gemäß "Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus". herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [6], auszugehen.

Bei dem Aushub von Leitungsgräben kommt es an den Grabenwänden häufig zu Unebenheiten. Bei dem Einsatz geosynthetischer Trenn- und Filterelemente kann es dann dazu kommen, dass diese Hohlräume überspannt werden und der unmittelbare Kontakt (intimate contact) zwischen geosynthetischem Element und natürlich anstehendem Boden nicht vorhanden ist. Treten größere Hohlräume dieser Art auf, kann es langfristig durch Kornumlagerungen zu Auflockerungserscheinungen in diesem Bereich kommen. Im Extremfall können sich Auflockerungen festsetzen und es muss mit lokalen Verformungen an der Geländeoberfläche gerechnet werden. Es soll deshalb ein Material zum Einsatz kommen, das sich durch seine Verformbarkeit im Zusammenspiel mit der Verdichtung der Grabenrückverfüllung möglichst vollständig an die Aushubform anpasst und zu einem "intimate contact" zwischen geosynthetischem Material und Grabenwand führt.

Für den Transport, die Lagerung auf der Baustelle und den Einsatz der geosynthetischen Elemente in den Leitungsgräben gelten die in den Merkblättern des Straßen- und Wasserbaus enthaltenen Angaben in gleicher Weise.



Abb. 2: Netzversuch Tonndorf, Gasversorgung Thüringen, Herstellung und Einbau von Verfüllmörtel mit einer Schlammemaschine

Weimarer Boden-Mörtel

Zur Bezeichnung

Das Vorschriftenwerk des Leitungs- und Straßenbaues nimmt bereits auf die Anwendung von Boden-Bindemittel-Gemischen bzw. stabilisierten Böden Bezug. Der vorzustellende Verfüllmörtel ist eine schlüssige Weiterentwicklung solcher Ansätze, die zu einem neuen Baustoff geführt hat.

Begriffsbestimmung

Weimarer Boden-Mörtel besteht aus:

- den Grundmaterialien Bodenaushub oder geeigneten Recycling- Baustoffen (RC-Baustoffen),

Im Interesse der wirtschaftlichen Anwendung von Verfüllmörtel stellt sich die Frage, welche Anlagen und Maschinen aus der Beton- und Straßenbautechnik für die Herstellung von Boden-Mörtel verwendet bzw. angepasst werden können.

Unbestritten ist, dass die Herstellung von Verfüllmörtel hohe Sachkenntnis und Verantwortung verlangt, denn es müssen die in ihren Eigenschaften schwankenden Naturbaustoffe, Aushubböden bzw. RC-Baustoffe über die Prozessstufen Herstellen - Transportieren - Einbauen zuverlässig in einen Baustoff mit definierten Trageigenschaften überführt werden.

Abschätzung der wirtschaftlichen Effekte

Der Boden-Mörtel-Einsatz führt im Leitungsbau zu erheblichen Einsparungen, was an folgenden Sachverhalten gezeigt werden kann:

- Die Grabenbreite lässt sich erheblich bzw. extrem (Strangverlegung) verringern, damit reduzieren sich

- die Fläche für das Aufnehmen und Wiederherstellen des Straßenoberbaues,

- die Volumina von Aushub für die Deponierung des verdrängten Bodens, der Wiederverfüllung und des Bodenaustausches/ Deponierung (sofern verlangt).

a Der lagenweise Einbau und die Verdichtung in der Leitungs- und Verfüllzone entfallen.

a Die Materialkosten für das Einbaumaterial in die Leitungs- und Verfüllzone liegen wesentlich höher als die für den anstehenden Aushub bzw. RC-Material.

Dem stehen Mehrkosten entgegen für:

- die Zusätze des Boden-Mörtels,

- die Herstellkosten, die sich an den Preisen von Betonmörtel orientieren und

- die Kostenunterschiede für das Anfahren des Boden-Mörtels, sofern Werksfertigung vorliegt.

Es gilt als sicher, dass Boden-Mörtel zwischen 75 und 90 DM/m³ bei fallender Tendenz angeboten werden kann.

Durchgerechnete Fallbeispiele haben gezeigt, dass sich bei der Boden-Mörtel-Anwendung die anteiligen Straßen- und Tiefbaukosten im Leitungsbau um etwa 35% senken lassen. Hinzukommt, dass keine Gewährleistungskosten für setzungsbedingte Schädigungen der Straßenbefestigungen mehr anfallen.

Anwendungsbeispiele

Die bisherigen Erkenntnisse und Erfahrungen stützen sich auf mehr als 40 Anwendungsbeispiele, von denen im folgenden ausgewählte Trassen dargestellt werden sollen (vollständige Referenzliste):

Versuchsstrecke im Fernwärmenetz der Stadtwerke Weimar, Lützendorfer Straße (Netzversuch IV - Nebeneinanderverlegung)

Hergestellt am: 08.08.1996. Fernwärmetrasse bestehend aus einer Kunststoffmantelrohrleitung 2 x DN 150, Länge: 150 m, Grundmaterial Mischabbruchgranulat

? Kontrollgrabung am 2.9.1996, Liegedauer etwa 1 Monat, Befunde: Boden-Mörtel erdfeucht und spatenlösbar.

? Kontrollgrabung am 29.5.1997, Liegedauer etwa 9 Monate, Befunde:

Boden-Mörtel erdfeucht und spatenlösbar, Verformungsmodul nach statischem Plattendruckversuch $E_{v2} = 99,367 \text{ MN/m}^2$.

Versuchsstrecke im Transportnetz der Gasversorgung Thüringen Erfurt, Tonndorf

Hergestellt am: 06.05.1997, Rohrmaterial HDPE, Da=110 mm, Länge: 210 m, Grabenprofil siehe Bild 2.

Versuchsstrecke im Fernwärmenetz der Stadtwerke Weimar, Lützendorfer Straße (Netzversuch V - Übereinanderverlegung)

Hergestellt im August 1997. Fernwärmetrasse bestehend aus einer KMR-Leitung 2 x DN 150, Länge 175 m. Grundmaterial gewaschener Betonsand 0-2.

Verfüllung von Leitungsgräben im Bereich von erschütterungssensiblen, denkmal-geschützten Gebäuden, Baumaßnahme Komplexsanierung Gera Markt

Hergestellt im September und Oktober 1997, Leitungsgräben mit Wasser-, Abwasser-, Gas- und diversen kreuzenden Leitungen, Verfüllvolumen: Haupttrasse 160 m\ Hausanschlüsse 40 m³.

Grundmaterial:

Betonsand 0-2 mm, Herstellung: mehrlagig je nach Bauablauf, erreichter Arbeitsradius eines Trommelfahrmischers 15 m Verteilentfernung (ohne Hilfsmittel), erreichte maximale

Grabenverfülleistung: 40 m³ pro Stunde, eingesetzte Arbeitskräfte: jeweiliger Mischerfahrer

Versuchsstrecke Weißensee - Verfüllung des Leitungsgrabens einer Starkstromtrasse mit Boden-Mörtel

Hergestellt im November 1997, Leitungsgraben für eine 20kV Starkstromtrasse, Verfüllvolumen 32 m³ Boden-Mörtel, Grundmaterial: gewaschener Betonsand 0-2 mm, Herstellung: mehrlagig zum Einlegen

von Kabelabdeckfolie und Trassenwarnband, eingesetzte Arbeitskräfte:

jeweiliger Mischerfahrer.

Versuchsstrecke im Gastransportnetz der Stadtwerke Chemnitz, Freiligrathstraße

Hergestellt im Mai 1998, Rohrmaterial HDPE, Da = 180 mm, Länge: 185 m. Grabenprofil siehe Bild 8, Verfüllvolumen 46,5 m³ Boden-Mörtel, Grundmaterial: gewaschener Betonsand 0-2 mm.

Versuchsstrecke im Fernwärmenetz der Stadtwerke Erfurt, Magdeburger Straße

Hergestellt am: 27.08.1998, Fernwärmetrasse bestehend aus einer Kunststoffmantelrohrleitung 2 x DN 125/150, Länge: 165 m, Grundmaterial: gewaschener Betonsand 0-2, eingebaute Boden- Mörtel-Menge: 93 m³.

Die Versuchsstrecken haben die Erwartungen erfüllt und gezeigt, dass Weimarer Boden-Mörtel weitgehend mit gebräuchlichen Anlagen und Maschinen der Beton -und Straßenbautechnik hergestellt und eingebaut werden kann. Die Wirtschaftlichkeit der Verfüllmörtel-Anwendung im Leitungsbau hat sich bestätigt.

Literatur

[1] Werner.D.: Fließfähig und verdichtungslos bi- Umweltschutz. 1997. H2, S. 50-52

[2] Kiesselbach. G.: Rohrgrabenverfüllung - neue technische und wirtschaftliche Aspekte. Rohrbau 1998. Tagungsmaterial

[3] Fleckner. H.: Abstandsregelung - Mindestabstände - Verlegetiefen - und ihre wirtschaftlichen Folgen. I. Bregenzer Rohrleitungstage mit Fachausstellung 1996, [Vortragsmaterial], 10 S.

[4] Zeller. A.: Entwicklungen beim Verfüllen von kleinen Baugruben und Rohrgräben. 3R International. 34(1995), Heft I 1/. S.22-28

[5] Zeller. A.: Baustellengerechte Verdichtungsnachweise für Leitungsräben. Ergebnisse und Umsetzung des DVGW-Forschungsvorhabens. Wasser Berlin 97. 2. Internationales Rohrleitungsbausymposium, Referate, S. 86-109

[6] Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbau. Ausgabe 1994. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

[7] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen. ZTVA-StB 97. Forschungsgesellschaft für Straßen -und Verkehrswesen

[8] Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen. ATV-Arbeitsblatt A127

GBM Mörtel KG

Ehrlichtweg 10 * 01689 Weinböhla * Phone 035243 / 32790 * Fax 035243 / 32792

Herstellung und Vertrieb von " Weimarer Verfüllmörtel â "

Lizenziertes Produkt – hergestellt unter Kontrolle des Forschungsinstitutes für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V.