

Boden-Mörtel - ein neuartiger Verfüllstoff für schmale Leitungsgräben in der Gas- und Wasserverteilung

Dietrich Werner und Otto Henning

Schlagwörter: Gas- und Wasserleitung, Hausanschlußtechnik, Kostenminderung, Rohrgräben, Grabenverfüllung, Schonung der Umwelt, fließfähiger und selbsterhärtender Verfüllstoff, Recycling-Baustoff

Kurzfassung

Die Baukosten für Verteiler- und Hausanschlußleitungen werden im wesentlichen durch die Breite der zu öffnenden/wiederherzustellenden Verkehrsflächen, durch das Grabenvolumen und die Deponierung verdrängter bzw. ungeeigneter anstehender Böden beeinflusst. Können solche Böden bzw. ein örtlich verfügbarer Recycling-Baustoff zu einem fließfähigen und selbsterhärtenden Verfüllstoff aufbereitet werden, so daß der Leitungsgraben für die Leitungsverlegung wie für den Einbau und die Verdichtung der Leitungszone nicht mehr betreten werden muß, kann auf schmalere Gräben übergegangen werden, so daß wesentliche Kosten entfallen. Der Schlüssel zu dieser Innovation liegt in einem neuartigen, im Tiefbau vielseitig anwendbaren Verfüllstoff - im weiteren Boden-Mörtel genannt - , der im folgenden stofflich-fertigungstechnisch beschrieben und grundsätzlich wirtschaftlich bewertet wird. Abschließend wird über die bisherigen Anwendungen von Boden-Mörtel im Leitungsbau und bei der Kabelverlegung berichtet.

Soil Mortar – a novel refill-material for narrow trenches of pipelines in the gas and water distribution

Dietrich Werner und Otto Henning

Catchwords: Gas and water pipelines, house service technology, less costs, pipeline trenches, backfill of trenches, protection of environment, refill-material capable to flow and harden by itself, recycling-material

Summary

Construction costs of distribution and house service pipelines are essentially determined by the width of the traffic areas to be opened/restored, the trench volume and the deposit of displaced or unsuitable soils. If soils or a locally available recycling-material can be prepared into a flowable and self-hardening material so that it is no longer necessary to enter the pipeline trench for backfill and compaction of the area around the pipe it will be possible to change over to narrower trenches, thus resulting in less costs. The key to this innovation is a novel refill-material which can widely be used in underground engineering, herein after called Soil-Mortar, which in the following will be described as material and production technology and economically assessed on principle. Finally, report will be given on the results achieved so far by the use of Soil-Mortar in pipeline construction and cable burying.

1. Aktuelle Problemstellung

Im Interesse einer sich erweiternden Gasanwendung liegt es, die forschungspolitischen Zielsetzungen in der Gasverteilung auf die Rationalisierung, Kostenminderung, Schonung der Umwelt und auf eine erhöhte Sicherheit auszurichten. Unter diesen Aspekten hat der DVGW auf seiner Gasfachlichen Aussprachetagung 1996 u. a. jenen Maßnahmen erste Priorität eingeräumt, die es ermöglichen, künftig engere Leitungsgräben zu nutzen [1].

Damit werden die bisherigen Grabenprofile in das Licht der Diskussion gerückt und es wird aufgerufen, unter Wahrung der gebotenen Sicherheit neuartigen Lösungsansätzen nachzugehen. Diese Aufforderung läßt sich auch auf andere Leitungs- und Kabelnetze ausweiten.

1.1 Problemsituation

Kostenanalysen des Leitungsbaues führen zu dem übereinstimmenden Resultat, daß sich die Kosten zunehmend auf den Straßen- und Tiefbau verlagern und sich nachstehende Rangfolge, Bezeichnungen nach Bild 1, einstellt:

- Öffnen und Schließen von Fahrbahndecken und des Oberbaues,
- Herstellen der Leitungszone und
- Herstellen der Verfüllzone.

Diese Kostenanteile betragen etwa 60% der Gesamtkosten. Sie erhöhen sich noch mit zunehmender Tiefe der Leitungsgräben und geringerem Leitungsdurchmesser.

Vergleichbare Kostensituationen liegen übrigens bei allen erdverlegten Ver- und Entsorgungsleitungen vor. An dieser Stelle sei darauf verwiesen, daß es sich eben aus dieser Sachlage heraus verbietet, Leitungsbauten allein über Rohrmeterpreise bewerten zu wollen.

Die oben angeführten dominierenden Kostenanteile werden wesentlich durch die Grabenprofile beeinflußt. Zu den sicherheitstechnischen und ergonomischen Gesichtspunkten für deren Auslegung wird in der betreffenden Unfallverhütungsvorschrift, § 32, ausgeführt: "Die Abmes-

sungen des Arbeitsraumes sind abhängig vom Böschungswinkel, Verbau, Einbauten, Rohrart und Arbeitsablauf“ [2]. Und folgerichtig unterscheidet die für Leitungsgräben maßgebliche DIN 4124 [3] zwischen Rohrarten und den zugehörigen Arbeitsabläufen, bei denen der Graben betreten werden muß und solchen, die zum Zweck der Leitungsverlegung und -prüfung nicht betreten werden müssen, wie z. B. Kabel- oder Drainagegräben.

Erkennt man an, daß solche, das Grabenprofil bestimmenden Größen, wie Böschungswinkel, Verbau, Einbauten u. ä. örtlich bedingt und damit nicht beeinflussbar sind, konzentriert sich das wirtschaftliche Interesse auf die Arbeitsraumbreiten.

Wie Bild 1 zeigt, befindet sich über der Grabensohle die sogenannte Leitungszone, in der die Rohrleitung mit Sand zu umhüllen ist. Der Sand ist bekanntlich lagenweise einzubauen und zu verdichten. Der Arbeitsraum ist nach DIN 4124, Tabelle 2, „Lichte Mindestbreiten für Gräben mit betretbarem Arbeitsraum“ zu bemessen. Danach müssen Gräben für Gas- und Wasserleitungen einen betretbaren Arbeitsraum neben der Leitung haben.

Ungeachtet dieser klaren Vorschriftenlage wird oft dagegen verstoßen, so daß permanent Aufklärungsarbeit geleistet werden muß [4].

Außer Gräben mit und ohne betretbaren Arbeitsraum akzeptiert die Tiefbau-Berufsgenossenschaft auch Gräben *ohne* erforderlichen Arbeitsraum, wenn Gräben maschinell ausgehoben, die Leitungen maschinell verlegt und wieder verfüllt werden, ohne daß Personen die Gräben betreten müssen. Danach wird z. B. beim Bau von Ferngasleitungen verfahren [5]. Wollte man nach diesem Prinzip Verteilerleitungen herstellen, die häufig unter befestigten Oberflächen liegen, müßte die Leitungszone auch ohne Betreten des Grabens *verdichtet* werden können, um nachträgliche Setzungen auszuschließen.

Für die alternative Gestaltung der Leitungszonen sind in der Literatur einige Lösungsansätze beschrieben worden, die sich aber in der Praxis bisher nicht durchsetzen konnten. So beziehen sich die Patentansprü-

che für die sogenannte stabilisierte Sandmischung (SSM) aus Österreich [6] auf eine Mischung aus Füll- bzw. Zuschlagstoffen, Zement/Kalk als Bindemittel, Luftporenbildner, Wasser und Fließmittel. Nach einem Zeugnis des Laboratoriums für Betontechnologie und Bodenprüfung der Fa. Mayreder, Keil, List u. Co. in Graz v. 19.08.1980 ist die Zusammensetzung der SSM wie folgt angegeben: Portlandzement, Putzsand 0/8 mm, Anmachwasser, Zusatzmittel Type 1 und Zusatzmittel Type 2. Demzufolge lehnt sich diese Lösung eng an betontechnologische Erkenntnisse an. Zur Verflüssigung werden Fließmittel auf Melaminharzbasis angewandt.

Eine der stabilisierenden Sandmischung naheliegende, patentierte Lösung [7] stellte British Gas plc, Research & Technology auf einem internationalen Symposium in Leeds 1995 vor. In Hinblick auf den verdichtungslosen Einbau wird hier ein Vergußmörtel beschrieben, der aus einem Zementmörtel und einem Fließmittel besteht, in dem Aushubmassen eingebracht werden. Fundierte praktische Erfahrungen wurden nicht mitgeteilt.

1.2 Formulierung des Problems

Das zu lösende Problem läßt sich unter Anlehnung an die systematisierten funktionellen Anforderungen [8] wie folgt formulieren:

Gesucht ist eine kombinierte Produkt- und Verfahrenslösung für die Erdverlegung von Gas- und Wasserleitungen in Verteilernetzen, die folgende Anforderungen erfüllt:

- Die Lösung soll bei Erfüllung der sicherheitstechnischen und ergonomischen Ansprüche eine arbeitsraumfreie Gestaltung des Leitungsgraben ermöglichen bzw. vergleichsweise reduzierte Arbeitsraumbreiten zulassen.
- Die sich ergebenden schmalere Leitungsgräben müssen qualitätsgerecht und rationell herstellbar sein.
- Die Leitungsverlegung und -prüfung einschließlich die Gestaltung der sog. Leitungszone muß ohne Betreten des Grabens realisierbar sein.

- Die betriebsbedingten Anforderungen der Rohrleitung, d. h. Inbetriebsetzung, Normalbetrieb, Spitzenlast, Außerbetriebsetzung und Betriebsstillstand dürfen nicht eingeschränkt werden.
- Die gesuchte Lösung muß einerseits den Belastungen aus ihrer technischen und natürlichen Umwelt widerstehen und darf andererseits die Umwelt nicht gefährden.
- Das zeit- und belastungsbedingte Verhalten muß aus Berechnungen, Versuchen oder Erfahrungen voraussagbar sein.
- Das Tragverhalten der Rohrleitung darf nicht eingeschränkt werden.
- Die gesuchte Lösung muß die üblichen Anforderungen der Instandhaltung, Reparatur, Sanierung und der Demontage gewährleisten und z. B. die Lecksuche, Aufgrabungen u.ä. uneingeschränkt zulassen.

2. Problemlösung

2.1 Bedingungen für die Darstellung

In Anbetracht der vielgestaltigen örtlichen Verhältnisse, wie z. B. Lage der Trasse unter befestigten/unbefestigten Verkehrsflächen, Eigenschaften der anstehenden Böden, Grabentiefe, Grabenformen, Außendurchmesser und Verbindungstechnik der Rohrleitung sowie die Gestaltung der Leitungs- und Verfüllzone mit /ohne Bodenaustausch u. v. a. m., wird hier eine Problemlösung für Bedingungen dargestellt, welche bei Verteilerleitungen häufig auftreten, d. h.: Abstufungen DN 40-200, Tiefenlage 1,00 m, +/- 0,25 m, Rohrwerkstoffe: HDPE und St, parallelwandige und unverbaute Gräben, Oberfläche befestigt bzw. unbefestigt mit angepaßter Gestaltung der Verfüllzone.

2.2 Grundstruktur des Lösungskonzeptes

Es wird vorerst unterstellt, daß das folgende Lösungskonzept die oben formulierten funktionellen Anforderungen erfüllt und durch folgenden Verfahrensablauf realisiert wird:

- Die schmalen Leitungsgräben werden durch Fräsen oder Baggern hergestellt, wobei die Grabensohle eben und gefällegerecht auszuführen ist.
- Der durch die Leitungszone verdrängte Aushubboden wird zur Weiterverwendung auf den nächstgelegenen Mischplatz zur Herstellung eines neuartigen tiefbautechnischen Verfüllstoffes - im folgendem als Boden-Mörtel bezeichnet - transportiert.
- Die Rohre werden nach dem Prinzip der Strangverlegung [9] in Streckenabschnitten einschließlich Bögen, Abzweigen oder Reduzierungen neben oder über dem Graben miteinander verbunden, nachisoliert und geprüft.
- Auf der Grabensohle werden in definierten Längenabständen Sandsäcke oder Schaumstoffunterlagen als Abstandshalter ausgelegt.
- Die verschweißten Leitungstrecken werden abgesenkt.
- Von dem nächstgelegenen Mischplatz zur Herstellung von Boden-Mörtel wird in definierten Abständen die Leitungstrecke zur Sicherung gegen Auftrieb mit Boden-Mörtel von steifer Konsistenz umhüllt, der nach wenigen Stunden selbständig erhärtet.
- Nach der Erhärtung werden die Zwischenstrecken mit Boden-Mörtel von weicher Konsistenz verfüllt. Der Boden-Mörtel verteilt sich somit selbständig und erhärtet ebenfalls nach wenigen Stunden.
- Danach wird die Verfüllzone unter Verwendung des Aushubbodens lagenweise hergestellt und verdichtet oder Boden-Mörtel eingesetzt. Falls Bodenaustausch vorgesehen ist, kann anstelle des Aushubbodens Boden-Mörtel bis zum Planum eingebaut werden.

Hieraus wird sichtbar, daß der Ruf nach wirtschaftlicheren Leitungsbauten nicht durch eine technische Einzellösung, sondern durch eine Systemlösung erfüllbar ist.

3. Beschreibung der Elemente des Lösungskonzeptes

3.1 Leitungsgräben ohne Arbeitsräume bzw. mit stark reduzierten Arbeitsraumbreiten

Die Autoren gehen in ihrer Tabelle 1 vom Regelwerk aus und schlagen in der Tabelle 2 Abmessungen für Leitungsgräben *ohne* Arbeitsräume einschl. Leitungszone vor, hier für das Fallbeispiel parallelwandige, unverbaute Gräben. Für die Abmessungen waren folgende Aspekte maßgebend:

- das Außenmaß der zu verlegenden Rohrleitung,
- die Abstände zwischen Rohraußenseite und Grabenwand von je 0,10 m zum Ausgleich der Achsabweichungen bei der Grabenherstellung,
- die Arbeitsbreiten der gebräuchlichen Arbeitswerkzeuge, wie Tieflöffel, Greifer, Fräskette u. ä. und
- wegen der vergleichsweise höheren Festigkeit und Schutzwirkung des Boden-Mörtels gegenüber einer eventuellen maschinellen Verdichtung der Verfüllzone wird die Scheitelüberdeckung auf 0,10 m herabgesetzt.

Vorschläge zur weiteren Differenzierung von Grabenprofilen können auf Vorbehalte und Einwände stoßen, sie sollten im Voranschreiten überwindbar sein.

3.2 Maschinelle Verlegung von Rohrleitungen

Unter maschineller Verlegung werden hier jene Verfahren subsumiert, bei denen die Rohre neben oder über dem geöffneten Leitungsgraben vorgestreckt, zu einem Strang verschweißt und dann in den Graben abgesenkt werden, ohne daß Arbeitskräfte den Graben betreten müssen. Dies trifft für die Strangverlegung zu, die in Verteilernetzen bei Kunststoff- und Stahlrohren bereits angewendet wird und bei der die genannten Rohrwerkstoffe über sogenannte stoffschlüssige Verbindungen miteinander verbunden werden. Dagegen muß bei solchen Rohren, die

sich nicht verschweißen lassen, sondern z. B. mittels Muffen miteinander verbunden werden (Einzelverlegung), der Graben betreten werden. Wird aber bei der Einzelverlegung die Leitungszone mit Boden-Mörtel ausgebildet, d. h. es muß dann weder lagenweise eingebaut noch verdichtet werden, kann man mit reduzierten Arbeitsräumen auskommen. Die Autoren unterbreiten hierfür in der Tabelle 3 einen Vorschlag.

3.3 Der Boden-Mörtel - stoffliche und verarbeitungstechnische Eigenschaften

Unter Mörtel, wie z. B. Zement-, Kalk-, oder Kalk-Zement- bzw. Kalk-Gips-Mörtel versteht man in der Bautechnik eine breiig-weiche verarbeitbare Stoffmischung, die nach einer bestimmten Abbindezeit selbständig erhärtet und damit u. a. tragende Eigenschaften erlangt. Da sich Boden-Mörtel ähnlich verhält, wurde die Bezeichnung „Mörtel“ übernommen. Für diesen neuartigen Verfüllstoff wird vorerst folgende Arbeitsdefinition eingeführt:

„Boden-Mörtel ist ein Stoffgemisch, bestehend aus:

1. Dem Grundmaterial Boden, wie Kies, Sand, Schluff oder Ton bzw. aus Gemischen davon oder aus geeigneten Recycling-Baustoffen (RC-Baustoffen),
2. dem Plastifikator, einer Mischung aus Wasser, quellfähigem Ton und anorganischen Zusätzen sowie
3. einem Stabilisator, wie z. B. Zement oder Kalk,

das nach Vermischen der Bestandteile vorübergehend eine gewollt steife oder weiche oder breiige Konsistenz annimmt und sich anschließend dauerhaft nur so weit verfestigt, daß der Boden-Mörtel vergleichsweise mittels Spaten wieder gelöst werden könnte.“

Der so bestimmte Boden-Mörtel gem. Patent DD 259 393 [10] beschränkt sich keineswegs auf den Leitungsbau, vielmehr kann er auch im Straßen- und Wegebau sowie bei Bauwerkshinterfüllungen, Überschüttungen, Auffüllungen u. ä. angewandt werden.

Um das Verständnis für die Funktionsweise des Boden-Mörtels zu unterstützen, sollen der weiteren Betrachtung lösungsrelevante Gesetzaussagen der Bodenmechanik und der Kolloidchemie vorangestellt werden, welche die Struktur von Böden, insbesondere auch von Tonen sowie die Festigkeit von Böden betreffen.

Mit der Struktur von Böden, wie Kiesen, Sanden, Schluffen und Tonen sowie Gemischen davon wird die Art und Weise beschrieben, wie die einzelnen Bodenkörner gegenseitig angeordnet und durch Grenzflächenkräfte verbunden sind. Hinzuweisen ist, daß man darunter allgemein auch die mineralogische Zusammensetzung, die elektrischen Eigenschaften ihrer Oberflächen, die Eigenschaften des Porenwassers usw. versteht.

In der Bodenmechanik werden Böden als Dreistoffsysteme aufgefaßt, die aus Feststoffen, Wasser und Luft bestehen. Während Kiese und Sande ein Einzelkorngefüge (Bild 2 a) aufweisen in dem sich die Bodenkörner gegeneinander abstützen, sind die dazwischen liegenden Hohlräume mit Wasser und Luft gefüllt. Dagegen verfügen Schluffe und die üblichen Tone, die im allgemeinen mäßig quellfähig sind, über ein Flocken- oder Wabengefüge (Bilder 2 b und 2 c). Ihr Verhalten wird vorzugsweise durch die Kräfte bestimmt, die an deren Oberflächen auftreten. Gemischtbindige Böden (Bild 2 d) liegen bezüglich ihrer Struktur und ihres Verhaltens zwischen den beiden vorgenannten Stoffgruppen.

Die quellfähigen Tone besitzen ein ausgeprägtes Adsorptions- und Ionenaustauschverhalten. Für sie ist ein Dreischichtaufbau (Bild 3) charakteristisch, der für das Boden-Mörtel-Konzept eine Schlüsselstellung einnimmt. Die Grobstruktur solcher Tone - chemisch Aluminium-Hydrosilikate - kann man sich nach Bild 4 als ein dreidimensionales Gebilde aus dünnen Plättchen vorstellen, die an den Berührungspunkten miteinander verbunden sind. Die Verbindungsart beeinflußt die Festigkeitseigenschaften solcher Tone. So weisen z. B. Montmorillonite vorzugsweise punktförmige Verbindungen auf. Die Oberflächen dieser Tone sind negativ geladen.

Da die Elastizitätstheorie auf Böden nur partiell anwendbar ist, beantwortet die Bodenmechanik statische Fragestellungen im wesentlichen durch Stabilitätsuntersuchungen. Hierbei wird jene Grenzlage bestimmt, bei der in Böden Bruch oder Gleiten auftreten, während die Bruchbedingungen über die Scherfestigkeit der Böden bewertet werden. Bei nichtbindigen Böden, wie Kiesen und Sanden wird die Scherfestigkeit im wesentlichen durch den Reibungswiderstand an den Oberflächen und den Verzahnungswiderstand der Einzelkörner beeinflusst, dagegen bereitet die Ermittlung der Scherfestigkeit von bindigen Böden, die sich aus der Kohäsion und Reibung der Bodenpartikel zusammensetzt, gewisse Schwierigkeiten.

Setzt man diese Gesetzmäßigkeiten mit dem oben formulierten Lösungskonzept in Beziehung, dann muß die Scherfestigkeit des vorliegenden Bodens (Grundmaterials) zeitweise erheblich reduziert werden, um ihn verdichtungslos einbauen zu können (Destabilisierung). Damit er anschließend beim Zusammenwirken Boden - Rohr seine Tragfunktion erfüllen kann, muß die Scherfestigkeit schließlich wieder angehoben werden (Restabilisierung). Dabei ist eine betonähnliche Festigkeit auszuschließen, denn im Reparaturfall oder bei Neuanschlüssen muß der abgebundene Boden-Mörtel vergleichsweise mittels Spaten wieder lösbar sein.

Dieses Verhalten des Boden-Mörtels wird erreicht, wenn in die Struktur des Grundmaterials (Boden oder RC - Baustoff) der Plastifikator integriert wird, wodurch die dabei entstehende Stoffmischung zeitweise in eine weiche Konsistenz überführt wird, um anschließend durch den Stabilisator einen irreversibel festen Zustand anzunehmen. Demzufolge kann man von einer zeitweisen Destabilisierung mit nachfolgend dauerhafter Stabilisierung sprechen.

Die Destabilisierung wird vor allem durch die integrierten Tonteilchen hervorgerufen, die durch Feuchtigkeitsaufnahme Adsorptionshüllen bilden und da sie sich noch gegenseitig abstoßen, fällt die Scherfestigkeit stark ab. Dieser „Entfestigungseffekt“ wird durch die Zugabe von anorganischen Zusätzen weiter verstärkt. Auf diese Weise bewirken die

Tonteilchen einen „Schmiereffekt“, so daß die Scherfestigkeit minimiert wird. Infolge seiner hohen Plastizität läßt sich der Boden-Mörtel verdichtungslos in den Rohrgraben einfüllen. Wie lange der Boden-Mörtel in dieser breiigen Konsistenz verbleibt, läßt sich über die Restabilisierung beeinflussen. Hierbei wird die Scherfestigkeit durch die Zugabe eines Stabilisators wieder angehoben. Als Folge der Feuchtigkeitsaufnahme des Stabilisators spalten sich mehrwertige Kationen ab, welche gegen die vorhandenen einwertigen Ionen der anorganischen Zusätze an der Oberfläche der Tonteilchen ausgetauscht werden. Auf diese Weise werden die Tonteilchen gegeneinander fixiert. Wird Zement zugegeben, bilden sich zusätzlich noch nadelartige Hydratationsprodukte, die CSH-Phasen, wodurch der Boden-Mörtel weiter verfestigt wird.

Da die hierbei entstehenden kalkhaltigen Tone eher eine lockere Struktur besitzen, läßt sich die Lösbarkeit und auch die Gasdurchlässigkeit des Boden-Mörtels gewährleisten. Hierin besteht ein wichtiger Maßstab für die Tauglichkeit der offerierten Lösung. Übrigens läßt sich die Dauer der Restabilisierung u. a. durch Wahl des Stabilisators beeinflussen.

Daß sich durch den in der Leitungszone eingebauten Boden-Mörtel die radialen Spannungen sowohl bei biegeweichen als auch bei biegesteifen Rohren günstiger verteilen, sei hier aus Platzgründen lediglich angemerkt. Und es liegt auf der Hand, daß sich die geringere Beanspruchung auf die Lebensdauer des Rohrmaterials positiv auswirkt.

Das Boden-Mörtel-Konzept unterscheidet sich von anderen scheinbar ähnlichen Ansätzen in folgenden Punkten:

- Gegenstand des Boden-Mörtel-Konzeptes ist die Wiederverwendung von Böden und geeigneten RC-Baustoffen.
- Die Destabilisierung der Böden und RC-Baustoffe wird nicht durch freies Wasser, sondern durch die Bildung von Gleitschichten aus Tonteilchen mit molekular gebundenem Wasser hervorgerufen. Somit kommt das Verfahren mit einem Minimum an Zugabewasser aus.

- Boden-Mörtel ist kein Magerbeton, weil die Verfestigung in erster Linie durch die Restabilisierung der Tonteilchen erfolgt.

3.4 Herstellung von Boden-Mörtel

Trotz der herausgestellten stofflichen Unterschiede zwischen dem Boden-Mörtel und z. B. einem niedrig klassifizierten Beton lehnt sich die Herstellung von Boden-Mörtel eng an die Grundprinzipien der Betonherstellung an, so daß sich die im Beton- und Straßenbau bewährte Misch- und Transporttechnik für den Boden-Mörtel nutzen läßt, auch wenn die eine oder andere Anpassung erforderlich werden sollte. Zweifellos kommt dies der raschen Verbreitung und der Wirtschaftlichkeit des Boden-Mörtel-Verfahrens zustatten.

Für die Boden-Mörtel-Herstellung bestehen zwei Hauptrichtungen, unter denen nach den örtlich vorliegenden Bedingungen gewählt werden kann:

- *Baustellenfertigung* und
- *Werksfertigung*.

Die Wahl hängt im wesentlichen vom Bedarf in dem jeweiligen Einzugsgebiet und von der Anzahl und Größe der Tief- und Leitungsbaustellen ab.

Die Optimierung der Prozeßstufen Dosieren, Mischen, Transportieren, Lagern und des Einbauens von Boden-Mörtel ist noch nicht abgeschlossen.

4. Gegenwärtiger Entwicklungsstand

Wer sich die Aufgabe stellt, die für bautechnische Zwecke geeigneten natürlichen Böden zu verarbeiten und in ihren Eigenschaften zu beeinflussen, wie dies durch das Boden-Mörtel-Konzept verfolgt wird, sieht sich einer Vielzahl von Bodenarten gegenüber. So klassifiziert die DIN 18196 [14] die bautechnisch nutzbaren natürlichen Böden in mindestens 20 verschiedene Arten, ohne dabei die mögliche Gliederungstiefe auszuschöpfen.

Aufgrund der Wirkprinzipie des Boden-Mörtels und gestützt durch stichprobenartige Laborversuche mit repräsentativen Bodenarten im Spektrum zwischen Kies und organogenen Böden vermuten die Autoren, daß sich die große Mehrheit der Böden nach DIN 18196 als Grundmaterial für Boden-Mörtel eignet, insbesondere dann, wenn sich der Integration der Komponenten keine Schwierigkeiten entgegenstellen. Selbst wenn sich mittelplastische und ausgeprägt plastischen Tone als Grundmaterial nicht gut zu Boden-Mörtel verarbeiten ließen, stünde seiner Breitenanwendung nichts im Wege, zumal auch RC-Baustoffe als Grundmaterial eingesetzt werden können, wenn die notwendigen ökologischen und technischen Nachweise erbracht werden.

Es ist einzuräumen, daß sich zum Zeitpunkt die stoffliche, fertigungs- und anwendungstechnische Entwicklung von Boden-Mörtel noch im Fluß befindet, ungeachtet dessen halten die Autoren eine frühe Information der potentiellen Anwender für angezeigt, damit deren Gedankengänge rechtzeitig aufgegriffen werden können.

Immerhin kann bereits auf mehrere unterschiedliche, positiv verlaufene technische Großversuche berichtet werden, weitere Anwendungen werden vorbereitet.

4.1 Übersicht der bisherigen großtechnischen Boden-Mörtel Anwendungen bei Leitungs- und Kabelverlegungen

Die Bilder 5 und 6 zeigen die Erstanwendung, wobei es sich um die Verfüllung eines 150 m langen und 1,50 m breiten Rohrleitungsgrabens handelt, in welchem nebeneinander verlegte Kunststoffmantelrohre 2 x DN 200 in ein Fernwärmeverteileretz eingebaut waren. Als Grundmaterial wurde ein Recycling-Baustoff, bestehend aus zerkleinertem Beton, Mauerwerk, Putz, Ziegel u.ä. in der Kornverteilung eines für die Leitungsbettung üblichen Natursandes, benutzt. Der RC-Baustoff wurde mit einem Stabilisator zu einer Trockenmischung vermengt, in ein Beton-Mischfahrzeug umgeschlagen und dann der Plastifikator zugegeben, der mit einem Rotormischer vorgemischt worden war. Der Bo-

den-Mörtel wurde dann zum Einbau an den Leitungsgraben gebracht. In einer ersten Arbeitsstufe wurden in Abständen von 6...10 m Belastungsbrücken gesetzt, um dem Auftrieb der Rohrleitung entgegenzuwirken. Die Brücken waren nach wenigen Stunden so ausgehärtet, daß die Zwischenstrecken mit Boden-Mörtel ausgefüllt werden konnten. Im vorliegenden Fall wurden die Rohrscheitel bis zu 0,30 m mit Boden-Mörtel überschüttet. Dabei nivellierte sich der Boden-Mörtel selbständig aus und sämtliche Hohlräume wurden satt ausgefüllt. Nach einer Abbindedauer von wenigen Stunden wurde bis zur Oberkante Planum lagenweise Aushubboden eingebaut und verdichtet sowie die Oberfläche wieder durch Pflaster geschlossen. Bei einer Probeaufgrabung nach einmonatiger Liegedauer ließ sich der Boden-Mörtel ohne weiteres mit dem Spaten lösen, dies traf auch bei einer weiteren Aufgrabung nach 9 Monaten zu. Dabei wurde durch einen statischen Plattendruckversuch einer neutralen Prüfanstalt ein Verformungsmodul von $E_{v2}=99,367 \text{ MN/m}^2$ festgestellt.

Weitere Anwendungen betreffen die Verfüllung der Leitungszone einer 210 m lange MD-Gasleitung aus HDPE $D_a 110 \text{ mm}$. Als Grundmaterialien wurden hier sowohl RC-Baustoff als auch gefräster Aushubboden verwendet. Der Boden-Mörtel wurde in 2 Varianten d. h. in einer stationär und in einer mobilen Anlage aufbereitet. Die vom Auftraggeber an zwei Meßstellen auf dem Planum der Trasse durchgeführten dynamischen Plattendruckversuche führten zu folgenden E_{v2} -Werten: Vor dem Öffnen des Grabens $56,7 \text{ MN/m}^2$ und $43,0 \text{ MN/m}^2$; 15 Tage nach dem Verfüllen mit Boden-Mörtel $118,4$ und $64,2 \text{ MN/M}^2$.

Bei der vierten großtechnische Anwendung wurde ein 175 m langer schlitzartig schmaler Leitungsgraben, maximal 2 m tief und nur 0,40 m breit mit Boden-Mörtel verfüllt, in dem Fernwärmeleitungen aus Kunststoffmantelrohr 2 x DN 150 (Bild 7) übereinander verlegt worden waren. Dadurch konnten die anteiligen Tiefbaukosten extrem reduziert werden. Lösungen dieser Art lassen sich nur mit einem fließfähigen, selbsterhärtenden Verfüllstoff realisieren.

Bei der fünften Anwendung mußte ein maximal 2,50 m tiefer Stufen-graben mit je einer Abwasserleitung (Steinzeug DN 500), einer Trink-wasserleitung (Duktiles Gußeisen DN 100) und einer Gasleitung (HDPE DN 150) (Bild 8) einschließlich der zugehörigen Hausanschlüsse und kreuzender Kabel in unmittelbarer Nähe erschütterungsgefährdeter denkmalgeschützter Gebäude verfüllt werden. Der Boden-Mörtel wurde in den drei horizontalen Ebenen bis UK Gasleitung, bis UK Wasserlei-tung und bis OK Boden-Mörtel-Verfüllung völlig erschütterungsfrei ein-gefüllt.

Bei der vorläufig letzten Anwendung 1997 wurde ein 150 m langen Ka-belgraben, 0,20 m breit und 0,80 m tief bis 0,10 m unter Oberfläche mit Boden-Mörtel verfüllt. (Bild 9) Die drei 20 kV-Kabel wurden auf einer 0,10 m dicken Sandunterlage aufgelegt.

Die beschriebenen Trassen sind bereits in Betrieb genommen worden. Beanstandungen liegen nicht vor. Mit den bewußt ausgewählten unter-schiedlichen Applikationen ist die Anwendungsbreite des Boden-Mörtels noch nicht ausgeschöpft.

4.2 Vorläufige wirtschaftliche Bewertung

Die von Beyer [1] begründete hohe Priorität für den „schmalen Lei-tungsgraben“ läßt sich schon durch den Geometrievergleich: Leitungs-graben mit betretbarem Arbeitsraum nach DIN 4124, siehe Tabelle 1, und den Vorschlag für Leitungsgräben ohne Arbeitsraum, siehe Tabelle 2, eindrucksvoll belegen.

Akzeptiert man die von den Autoren vorgeschlagenen Grabenbreiten nach Tabelle 2, ergibt sich unter Bezug auf die Tabellen 1 und 2 sowie auf Bild 10 für eine Gasverteilerleitung DN 100 in Strangverlegung und bei vollem Bodenaustausch folgender qualitativer Mengenvergleich:

Leitungsgräben unter Verkehrsflächen:

Kostenreduzierungen:

- Reduzierung der Position Straßenaufbruch und -wiederherstellung, Tiefe 0,70 m, auf 60%, vgl. Tabellen 1 und 2, Spalten 3
- Reduzierung der Position Bodenaushub, Transport und Deponie des verdrängten Bodens, Tiefe 0,55 m, auf 60 %, vgl. Tabellen 1 und 2, Spalten 3
- Reduzierung der Position Einbau in die Leitungs- und Verfüllzone, Tiefe 0,55 m, auf 60 %, vgl. Tabellen 1 und 2, Spalten 3
- Wegfall der Position Verdichten und Verdichtungsprüfung in der Leitungs- und Verfüllzone,

Kostenzunahme:

- Differenz der Material- und Einbaukosten in der Leitungs- und Verfüllzone, Tiefe 0,55 m, zwischen Bettungssand/Austauschboden und dem Boden-Mörtel

Leitungsgräben außerhalb von Verkehrsflächen:

Kostenreduzierungen:

- Reduzierung der Position Bodenaushub, Transport und Deponie des verdrängten Bodens, Tiefe 1,25 m, auf 60 %.
- Reduzierung der Position Einbau in die Leitungs- und Verfüllzone, Tiefe 1,25 m, auf 60 %.
- Wegfall der Position Verdichten und Verdichtungsprüfung in der Leitungs- und Verfüllzone,

Kostenzunahme:

- Differenz der Material- und Einbaukosten in der Leitungs- und Verfüllzone, Tiefe 1,25 m, zwischen Bettungssand/Austauschboden und dem Boden-Mörtel.

Die bisher durchgearbeiteten Fallbeispiele haben gezeigt, daß sich bei solchen Mengenveränderungen und bei durchschnittlichen Kostenansätzen die Tiefbaukosten generell um etwa 30 % senken lassen. Liegen die Leitungen unter Fahrbahnen, tendiert diese Kostensenkung gegen 40 %. Auch bei geänderten Bedingungen ist mit ähnlichen Ein-

spareffekten zu rechnen. Bei diesen Aussagen ist zu berücksichtigen, daß die Kosten für die Beschaffung von Bettungssand und die Deponekosten im Steigen begriffen sind und hier durch das neue Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz [15] auch nicht mit einer Tendenzwende zu rechnen ist. Hinzu kommt, daß sich die Preisangaben für Boden-Mörtel sich in der Einführungsphase noch einpegeln müssen. Die Autoren haben aus Vorsichtsgründen hierfür einen relativ hohen Ansatz gewählt.

Aus mehr als einem Grund kann die vorgestellte Lösung „schmalere Leitungsraben durch den Einsatz von Boden-Mörtel“ als wirtschaftlich ergiebig eingestuft werden.

5. Geplante Entwicklungsschritte

Die Autoren vertreten die Ansicht, daß beides, die Entwicklung *und* die Anwendung der schmaleren Rarben in Kombination mit dem Boden-Mörtel wechselseitig vorangebracht werden müssen. In diesem Sinn werden auch die gemeinsam mit dem DVGW und der Versorgungswirtschaft eingeleiteten Entwicklungsschritte geplant.

Literatur

- [1] *Beyer, R.*: Neue Strukturen und Perspektiven der Forschung und Entwicklung im Gasfach. *gwf-Gas/Erdgas* 137 (1996) Nr. 10, S. 530-534.
- [2] VGB 37:Unfallverhütungsvorschrift Bauarbeiten. Hrsg. Tiefbau-Berufsgenossenschaft - Gesetzliche Unfallversicherung, Ausg. 1977, Stand April 1993.
- [3] DIN 4124: Baugruben und Rarben - Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau. Ausg. August 1981.
- [4] *Achmus, M. und Rizkallah V.*: Verbau und Wiederverfüllung von Leitungsrarben. Hrsg. vom Institut f. Bauschadensforschung e. V., Hannover, Informationsreihe, Nr. 12, 1996.
- [5] Rieger, W.: Arbeitsraumbreiten in Baugruben und Rarben. Die Tiefbau-Berufsgenossenschaft (1985) Nr. 7.

- [6] Österreichisches Patent: AT Nr. 374 163: Gießfähige Mischung, vorzugsweise zum Verfüllen von Künetten, Gräben und dgl. vom 15. 08. 1984.
- [7] *Owens, R. C. und Parker J. E.:* Recycling for Reinstatement - the Gas Experience. British Gas, Research & Technology E 963, July 1995.
- [8] *Werner, D.:* Technische Anforderungen an Rohrleitungen. Mitteilungen des Forschungsinstitutes für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. (1993) Nr. 1.
- [9] *Eberhard, R. und Volz, P.:* Handbuch der Gas-Rohrleitungstechnik. München/Wien: Oldenbourg Verlag 1990.
- [10] Patent DD 259 393: Verfahren zum Verfestigen von Lockergesteinen.
- [11] Grundbau-Taschenbuch, 4. Aufl. T.1, 1990.
- [12] *Kézdi, Á.:* Handbuch der Bodenmechanik. Bd. 1, 1969.
- [13] *Henning, O. und Knöfel, D.:* Baustoffchemie. 5. Aufl. Berlin/Wiesbaden 1997
- [14] DIN 18196: Erd- und Grundbau - Bodenklassifizierung für bautechnische Zwecke. Ausg. Oktober 1988.
- [15] KrW/AbfG: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. vom 27.09.1994.

Tabelle 1: Abmessungen der Leitungszone mit betretbarem Arbeitsraum
 Fall: Nicht verbauter Graben mit senkrechten Wänden, Regel-
 verlegetiefe bis 1,25 m (nach DIN 4124, Tabelle 2)

Abmessungen der Leitungszone			
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4
DN	Höhe /mm/	Grabenbreite /mm/	Querschnittsfläche /m ² /
40	440	440	0,19
65	465	465	0,22
80	480	480	0,23
100	500	500	0,25
125	525	525	0,28
150	550	550	0,30
200	600	600	0,36

Tabelle 2: Vorschlag für die Grabengeometrie ohne erforderlichen Arbeitsraum

Fall: Nicht verbauter Graben mit senkrechten Wänden , Regelverlegetiefe bis 1,25 m, Strangverlegung

Abmessungen der Leitungszone			
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4
DN	Höhe /mm/	Grabenbreite /mm/	Querschnittsfläche /m ² /
40	240	220	0.05
65	265	260	0,07
80	280	300	0,08
100	300	300	0,09
125	325	300	0,10
150	350	400	0,14
200	400	400	0,16

Tabelle 3: Vorschlag für die Grabengeometrie mit reduziertem Arbeitsraum und Einzelrohrverlegung

Fall: Nicht verbauter Graben mit senkrechten Wänden, Regelverlegetiefe bis 1,25 m

Abmessungen der Leitungszone			
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4
DN	Höhe /mm/	Grabenbreite /mm/	Querschnittsfläche /m ² /
40	240	350	0,08
65	265	350	0,09
80	280	400	0,11
100	300	400	0,12
125	325	450	0,15
150	350	450	0,16
200	400	500	0,20

Zusammenstellung der Bildunterschriften

- Bild 1.** Querschnitt durch einen parallelwandigen unverbauten Leitungsgraben. a) ohne befestigte Oberfläche, b) mit befestigter Oberfläche.
- Bild 2.** Struktur von Böden nach [11;12].
- Bild 3.** Dreischichtaufbau von Ton nach [13].
- Bild 4.** Tonstruktur nach [13].
- Bild 5.** Einfüllen des Boden-Mörtels in den Leitungsgraben einer Fernwärmeleitung 2 x DN 150 in Nebeneinanderlage.
- Bild 6.** Fertiggestellte Leitungszone für Fernwärmeleitung gem. Bild 5.
- Bild 7.** Querschnitt eines mit Boden-Mörtel verfüllten Leitungsgrabens einer Fernwärmeleitung 2 x DN 150 in Übereinanderlage.
- Bild 8.** Querschnitt eines mit Boden-Mörtel verfüllten Stufengrabens für die Verlegung von Abwasser-, Gas- und Wasserleitungen.
- Bild 9.** Querschnitt eines mit Boden-Mörtel verfüllten Kabelgrabens, 3 x 20 kV.
- Bild 10.** Darstellung wesentlicher Einsparpotentiale für ein Fallbeispiel. 1 – Straßenaufbruch und –wiederverfüllung, 2 – Bodenaushub, Transport, Deponie und Einbau in die Leitungs- und Verfüllzone.

/GWF Beitrag ÜF.doc/, Bilder 1-10 b. Krausewald/Veröffentlichungen/GWF