

## **Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V.**

Geschäftsstelle

Georg-Haar-Str. 5

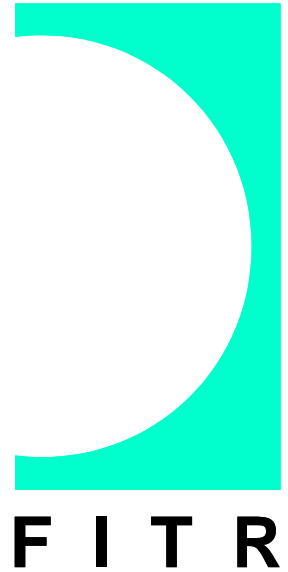
D-99427 Weimar

Telefon: (0 36 43) 82 68 0

Telefax: (0 36 43) 82 68 26

Email: [Postmaster@fitr.de](mailto:Postmaster@fitr.de)

Internet: <http://www.fitr.de>



### **Neue Entwicklungen bei Erd- und Oberflächenarbeiten**

---

erschienen:

Materialien zur brbv-Informationsveranstaltung „Neue Technologien /  
Regelwerke“ am 19. und 20. März 2001 in Köln.

## 1. Einleitung

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 Straßenbaulastträger 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 stabilisierten Rohrgrabenverfüllmaterialien, wie z. B. der Boden-Mörtel, für die Leitungszone betrachtet.

Das wesentliche Merkmal der stabilisierten 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].

## **2. Weimarer Bau-Mörtel® (WBM®)**

### **2.1 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.

### **2.2 Begriffsbestimmung**

Für die Herstellung von WBM® werden folgende Grundmaterialien eingesetzt:

Natürliche Aushubböden bzw. Bodenaushub aus innerstädtischen Bereichen oder um geeignete Recyclingbaustoffe aus dem Straßen- und Hochbau.

Ein Plastifikator, bestehend aus einer Mischung von Wasser, quellfähigem Ton und organischen Zusätzen, die im Ergebnis intensiver Vermischung als Suspension in einem flüssigen, pumpfähigen Zustand vorliegt.

Ein Stabilisator, wie z. B. Zement oder Kalk oder Asche, der im wesentlichen in pulverförmigen Zustand vorliegt, und der auch in flüssiger Form dem Gemenge zugegeben werden kann. Das gleiche gilt für die Additive.

Nach dem Vermischen dieser Bestandteile nimmt der WBM<sup>®</sup> vorübergehend eine plastische Konsistenz an, d. h., die Scherfestigkeit des Grundmaterials wird in ausreichendem Maße reduziert („Destabilisierung“). Anschließend nach seinem Einbau verfestigt sich der Mörtel nur so weit, dass er seine Tragfunktion dauerhaft erfüllen kann und dass er im Bedarfsfall z. B. mittels Spaten wieder gelöst werden kann („Restabilisierung“). Durch weitere Zusätze kann die Abbinddauer beeinflusst werden.

### **2.3 Umweltverträglichkeit**

Aufgrund der Zusammensetzung des WBM<sup>®</sup> kann davon ausgegangen werden, dass grundsätzlich keine Belastungen beim Einsatz im Baugrund für die Umwelt erwartet werden, da die Grundmaterialien aus natürlichen Aushubböden oder Recyclingmaterialien bestehen. Die verwendeten Plastifikatoren und Stabilisatoren bestehen ebenfalls aus heute im Bauwesen zugelassenen Stoffen.

### **2.4 Zur Integration des Weimarer Bau-Mörtels<sup>®</sup> in das Regelwerk**

Hier interessiert in erster Linie, welche Anforderungen unter befestigten Verkehrsflächen gestellt werden. Maßgebend ist hier der Nachweis des Verformungsmoduls, der je nach der zutreffenden Straßenoberbau-Bauklasse auf frostsicheren Unterbau nach ZTV-A-StB 97 [6] festgelegt ist.

Nach dem Arbeitsblatt A 127 [7] wird das Tragverhalten von Rohrleitungen nach dem Verhältnis der Steifigkeit des Rohres zur Steifigkeit des Bettungsmaterials beurteilt und so zwischen biegesteifen und biegeweichen Rohren unterschieden. Biegesteife Rohre bestehen z. B. aus Steinzeug, Beton oder Stahlbeton, biegeweiche Rohre z. B. aus Stahl oder PVC, GFK bzw. den Polyolefinen PE und PP. Vorrangig interessieren hier die Reaktionen biegeweicher Rohre auf die steifere Bettung, weil bei solchen Fällen der Boden Bestandteil des Tragsystems ist und deren Verformung die Belastung und Druckverteilung maßgebend beeinflusst. Da sich aber bei steiferer Rohrbettung der entlastend wirkende seitliche Erddruck erhöht, sind in den bei biegeweichen Rohren kritischen Sohlrandbereichen geringere Verformungen zu erwarten und die Anwendung von WBM<sup>®</sup> hätte hier einen lebensdauerverlängernden Effekt.

Ähnliches träfe für biegesteife Rohre zu, denn durch die vergleichbar geringeren Steifigkeitsunterschiede zwischen Mörtel und Rohr, dürften sich die für biegesteife Rohre typischen Spannungsspitzen im Bereich des Sohlpunktes abschwächen.

Bei der Integration des WBM<sup>®</sup> in das Tragsystem Rohr-Boden-Verkehrsanlage sind demzufolge keine Akzeptanzprobleme zu erwarten, da die vorgegebenen Verformungsmoduln  $E_{V2}$  und  $E_B$  sowohl durch Eignungsprüfungen als auch in situ nachgewiesen werden können.

Ähnlich wäre bei den als umwelt- und bauwerksverträglich zertifizierten Mischabbruchgranulaten als Grundmaterial für den WBM<sup>®</sup> vorzugehen.

Die vorliegenden praktischen Erfahrungen sprechen für die Eignung von WBM<sup>®</sup> zur Herstellung der Leitungs- und Verfüllzone unter Straßenbefestigungen.

## **2.5 Die Herstellung von Weimarer Bau-Mörtel<sup>®</sup> (WBM<sup>®</sup>)**

Bekanntlich wird Beton bzw. die Bodenverfestigung im Straßenbau mittels Zement oder Kalk aus wirtschaftlichen Erwägungen in Zentralmischanlagen (Mixed-in-plant) oder dezentral in Ortsmischanlagen (Mixed-in-place) hergestellt. Ähnliches trifft auch für WBM<sup>®</sup> zu.

Im Interesse der wirtschaftlichen Anwendung von WBM<sup>®</sup> 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 WBM<sup>®</sup> 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.

### **2.5.1 Herstellung auf zentralen Mischplätzen**

Immer häufiger erzwingen die eingeschränkten Platzverhältnisse in innerstädtischen Gebieten, den Aushub abzutransportieren und nicht unmittelbar an der Baustelle zwischenzulagern. Können für solche Zwischenlager bereits bestehende zentrale Lager-, Recycling- bzw. Mischplätze genutzt werden, kann es technisch-wirtschaftlich sinnvoll sein, dort eine Werksfertigung für WBM<sup>®</sup> einzurichten oder eine solche an eine bereits bestehende Betonmischanlage anzuschließen.

Für das Lagern, Dosieren und Mischen der Mörtel-Komponenten genügen in der Regel die aus der Aufbereitung von Frischbeton bekannten Möglichkeiten, d. h. Antransport der Grundmaterialien mittels selbstentladender Straßenfahrzeuge, Transport der Plastifikatoren und Stabilisatoren vorzugsweise mit selbstentladenden Behälterfahrzeugen, Lagern in Boxen, Halden, Bunkern und Hochsilos, Fördern mit Schrapper, Becherwerk, Gurtbandförderer und Kompressoranlagen, Dosieren mittels kontinuierlich oder diskontinuierlich arbeitender Waagen bzw. Durchflussmengenmesser, Mischen vorzugsweise mit Zwangsmischern, Boden-Mörtel-Transport mit Spezialfahrzeugen mit Trommelaufbau und Rührwerk und Einbringen durch Schütten unter Verwendung von Rohren, Rinnen und Schütttrichtern. Folglich erfordert die WBM<sup>®</sup>-Anwendung keine spezielle maschinentechnische Entwicklungen bzw. teure Spezialanlagen, was sich kostengünstig auswirkt.

Für eine zentrale Fertigung des WBM<sup>®</sup> in Städten, wie bereits in Gera durch die Fa. Hofmann-Beton realisiert, spricht auch ein innerhalb einer wirtschaftlichen Transportentfernung bestehender ständiger Bedarf definierter Größe, so dass die Zentralmischanlage hochgradig ausgelastet werden kann. Im übrigen gelten die vom Transportbeton her bekannten Vorteile auch für den WBM<sup>®</sup>, wie Kostensenkung durch hohe Automatisierung, zuverlässige Qualität, Minimierung der Zusätze u. ä. m.. Eine weitere Anlage ist in Erfurt vorgesehen.

### **2.5.2 Herstellung auf der Baustelle**

Liegen die Verhältnisse anders als oben geschildert, z. B. wie in ländlichen, klein- oder mittelstädtischen Gebieten mit geringem bzw. zeitlich nicht ausgewogenem Bedarf, wird es wirtschaftlicher sein, den WBM<sup>®</sup> direkt auf der Baustelle herzustellen. Auch hier stellt sich im

Interesse der Kostendämpfung die Frage, inwieweit bereits bekannte Maschinen für einen solchen Verwendungszweck mitbenutzt werden können.

Aus dem Straßenbau sind die sog. Schlämmemaschinen bekannt, die sich als selbstfahrende, baustellengerechte Maschinen für die Aufbereitung und den Einbau von bituminösen Kaltasphalt-Belägen bewährt haben. Solche Maschinen, die auch in verschiedenen Leistungsklassen vorliegen, besitzen im wesentlichen die für die Baustellenfertigung von WBM<sup>®</sup> erforderlichen Merkmale, wie

Behälter für die Aufnahme und Mitführung des Grundmaterials mit untenliegender Förderbandanlage, Dosierschieber und Innenrüttler,

Flüssigbehälter mit Dosiereinrichtung für den Plastifikator, der als vorgefertigte Suspension bereitgestellt wird,

Behälter für die Aufnahme des Stabilisators (Zement, Kalk o. ä.) mit Schneckenförderung zur Dosierung sowie

Doppelwellenmischer zum Vermischen der Mörtel-Komponenten mit Querverteiler.

Dass sich Schlämmemaschinen für die Baustellenfertigung von WBM<sup>®</sup> durchaus eignen, konnte bei der Versuchsbaustelle „Tonndorf“ nachgewiesen werden. Dementsprechend ist die Herstellung von WBM<sup>®</sup> mit der „Schlämme-Technologie“ als alternatives Produkt weiterhin vorgesehen.

### **3. Untersuchungen zur Gasdurchlässigkeit von Weimarer Bau-Mörtel<sup>®</sup> [8]**

Neben den ökonomischen Aspekten interessieren sich die Gasversorgungsunternehmen speziell für das Problem der Gasdurchlässigkeit (Gaspermeabilität) des WBM<sup>®</sup> zwecks einer einwandfreien Leckortung.

Die Gaspermeabilität wurde bisher mit unterschiedlichen versuchstechnischen Ansätzen unter Laborbedingungen von drei unabhängigen Einrichtungen untersucht.

Der FITR Weimar e. V. führte Untersuchungen an einem Versuchsaufbau zur Leckagesimulation durch, der aus einem PE-Rohr DN 40 mit einer Länge von ca. 500 mm bestand, welches in einem WBM<sup>®</sup>-Block eingebettet wurde. Die Abmessungen des Blocks betragen 15 x 15 x 50 cm. Das PE-Rohr wies in der 12-Uhr-Position eine Bohrung  $\varnothing$  3 mm zur Lecksimulation auf. Als Prüfmedium diente Luft mit einem Druck von ca. 2 bar, der durch eine einfache Handpumpe erzeugt wurde. Die Austrittsstelle der Luft lag immer in unmittelbarer Nähe der Leckagesimulation. Eine Längsläufigkeit wurde nicht festgestellt.

Durch das Institut für Baustoffprüfung Bauzustandsanalyse Bausanierungsplanung Anhalt GmbH (IBA Dessau) wurden im Auftrag der Ruhrgas AG weitere Modellversuche durchgeführt. Im Unterschied zu den Versuchen des FITR erfolgte die Versuchsdurchführung mit Mörtel-Rezepturen, die sich im wesentlichen durch einen unterschiedlichen Feinstkornanteil auszeichneten. Als Ergebnis der Untersuchungen konnte eine Abhängigkeit der Gasdurchlässigkeit von der Korngrößenverteilung, besonders vom Feinstkorn- und dem Bindemittelanteil, nachgewiesen werden. Die Untersuchungen bewiesen, dass sich der WBM<sup>®</sup> rezepturseitig soweit qualifizieren lässt, dass er bei Drücken von 50 mbar ausreichend gasdurchlässig ist.

Die einzigen Untersuchungen mit einem anderen Medium als Luft, wurden mit Methan von der UST Umweltsensortechnik GmbH Geschwenda durchgeführt. Die untersuchten drei Probekörper hatten die Abmessungen 20 x 20 x 20 cm und enthielten je ein Kupferrohr mit definierten Bohrungen (0,6; 1,0 und 1,5 mm). An dieses Kupferrohr wurde eine mit Methan von ca. 100 mbar gefüllte Gasblase angeschlossen. Die Messung der Permeabilität erfolgte mit

dem Sniffer<sup>®</sup>-MT, einem selektiven Methanmessgerät der Fa. UST Umweltsensortechnik Geschwenda, mit einem Halbleitersensordetektor. Bestimmt wurde die räumliche und zeitabhängige Methanpermeation über der Oberfläche des Probekörper.

Im Ergebnis der Messungen konnte festgestellt werden, dass sich die größte Methangaskonzentration entlang der Probekörperfläche unmittelbar über der Leckstelle befand. Somit wird bei Bettung von Gasleitungen in WBM<sup>®</sup> die im Fall einer Leckage befürchtete „Leckgaswanderung“ nicht eintreten.

#### 4. Abschätzung der wirtschaftlichen Effekte

Die Betrachtungen der Wirtschaftlichkeit werden anhand von Fallbeispielen erläutert, die auf einer durch die Ruhrgas AG durchgeführten Kostenanalyse basieren.

Der Kostenvergleich konventioneller Tiefbau / Einsatz von WBM<sup>®</sup> wurde unter folgenden Randbedingungen durchgeführt:

Kosten, die in beiden Fällen identisch sind (z. B. Baustelleneinrichtung und -sicherung, Rohrbau, nicht flächenbezogene Oberflächenwiederherstellungskosten) bleiben unberücksichtigt.

Vergleichsfälle sind Leitungsgräben in gepflastertem Gehweg und in untergeordneten Fahrbahnbereichen.

Versorgungsleitung in DN 125 ( $D_a = 140$  mm).

Grabensohle 1,05 m unter Oberkante Pflasterung bzw. Straße.

Leitungsunterkante 0,10 m über Grabensohle mit 0,10 m Einsandung unterhalb und oberhalb der Leitung im konventionellen Fall (Leitungszone).

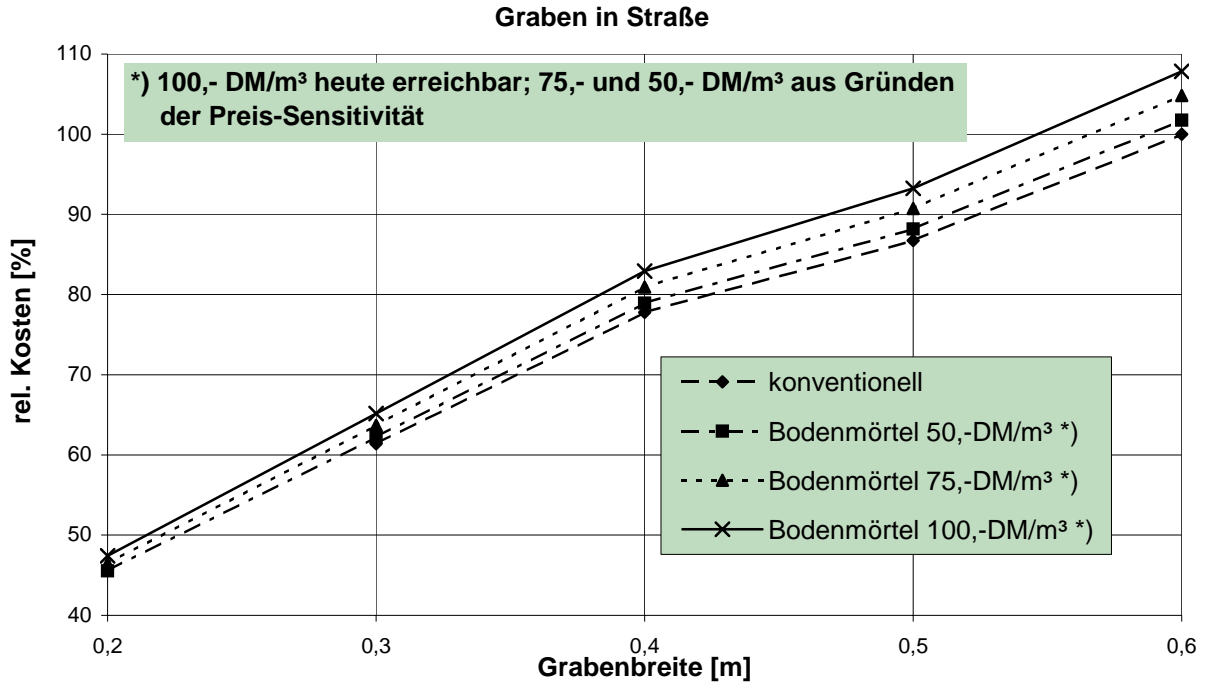
Bodenaustausch, d. h. Aushubabfuhr zur Recycling-Anlage und im konventionellen Fall Anfuhr und Verfüllung von Sandersatz bzw. anderem Recycling-Material.

Grabenbreiten: 0,20 m, 0,30 m, 0,40 m, 0,50 m und 0,60 m.

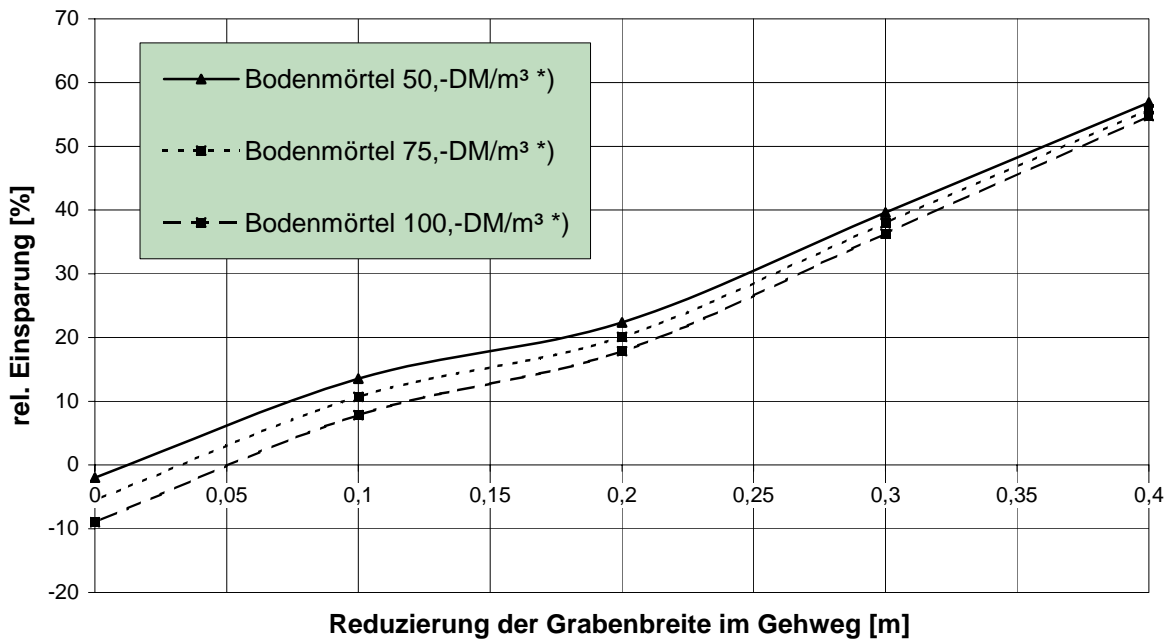
Die Kosten für den konventionellen Tiefbau wurden einem zur Verfügung gestellten Leistungsverzeichnis entnommen und mit den derzeit üblichen Rabatten versehen. Dieses Leistungsverzeichnis enthält auch die zugrunde gelegten Vorgaben, wie Aufbrüche in gepflasterten Gehwegen oder untergeordneten Fahrbahnen wieder herzustellen sind.

Von besonderem Interesse sollten die Kosten beim konventionellen Tiefbau für das Verfüllen und Verdichten von Gräben und Baugruben ohne Materialkosten sein, die bei Einsatz von WBM<sup>®</sup> als Gutschrift zum Tragen kommen, aber explizit in den Kostenrechnungen nicht ausgewiesen sind. Im Durchschnitt sind dafür an innerstädtischen Baustellen 19,- DM/m<sup>3</sup> anzusetzen.

Die graphischen Darstellungen in **Bild 1** und **Bild 2** zeigen die möglichen Kostenreduzierungen durch Verwendung von WBM<sup>®</sup> statt üblicher Sandbettung in Abhängigkeit zur reduzierten Grabenbreite bei Verlegung im Gehweg (**Bild 2**) und bei der Verlegung in der Straße (**Bild 1**). Die konventionellen Tiefbaukosten für die Grabenbreite 60 cm wurden gleich 100 % gesetzt. Entscheidend ist die Frage: Um wieviel kann unter Ausnutzung der Vorteile von WBM<sup>®</sup> die Grabenbreite verringert werden und tritt dann ein Kostenvorteil gegenüber der konventionellen Bauweise ein? Dazu zeigt **Bild 1** für die Verlegung in der Straße, dass die Grabenbreite selbst bei Mörtelkosten von 100,- DM/m<sup>3</sup> rein rechnerisch nur um ca. 3 bis 8 cm verringert werden muss, um Kostengleichstand zu erreichen. Bei einer Verringerung um 10 cm werden bereits Einsparungen zwischen ca. 8 % und 13 % erreicht.



**Bild 1: Kostenreduzierung durch Verringerung der Grabenbreite und Einsatz von WBM statt Sandbettung**



**Bild 2: Darstellung der Funktionslinien für WBM aus Bild 1 in Form der relativen Einsparungen (Die Breitenreduzierung Null entspricht 60 cm Grabenbreite)**

Bei Verfüllung des Grabens bis zur Unterkante des Aufbaus der Oberfläche ist eine größere Breitenreduzierung des Grabens notwendig. Hier liegen bei 100,- DM/m<sup>3</sup> die notwendigen Reduzierungen der Grabenbreite für Kostengleichstand zwischen ca. 7 cm und 13 cm. Bei einer Breitenreduzierung von 15 cm liegen die Kosteneinsparungen zwischen 2 % und fast 20 %.

## 5. Anwendungsbeispiele

Die bisherigen Erkenntnisse und Erfahrungen stützen sich auf mehr als 40 Anwendungsbeispiele, von denen im folgenden ausgewählte Trassen dargestellt werden sollen.

### 5.1 Versuchsstrecke im Transportnetz der Gasversorgung Tonndorf

Maßnahme im Auftrag der Gasversorgung Thüringen GmbH im Mai 1997. Gasleitung  $D_a = 110$  mm, Länge: 210 m, aus PE-HD. Verfüllung mit  $32 \text{ m}^3$  WBM<sup>®</sup>. Grundmaterial für WBM<sup>®</sup>: gefräster bindiger Aushubboden und Mischabbruchgranulat. **Bild 3.**



**Bild 3:** Feldversuch Tonndorf, Gasversorgung Thüringen, Herstellung und Einbau von WBM<sup>®</sup> mit einer Schlammemaschine

### 5.2 Verfüllung von Leitungsgräben im Bereich von erschütterungssensiblen, denkmalgeschützten Gebäuden, Baumaßnahme Komplexsanierung Gera Markt

Maßnahme im Auftrag des Abwasserzweckverbandes Gera im September und Oktober 1997. Einbettung von Wasser-, Abwasser-, Gas- und diversen kreuzenden Leitungen sowie verschiedener Kabel. Haupttrasse: Wasserleitung DN 150 aus duktilem Gusseisen und PE-HD. Abwasserleitungen DN 400 und DN 500 (Steinzeug). Gasleitung  $D_a = 110$  mm aus PE-HD. Hausanschlüsse: Wasserleitung  $D_a = 40$  mm, Abwasserleitung DN 150. Verfüllung der Haupttrasse mit  $160 \text{ m}^3$  WBM<sup>®</sup> und der Hausanschlüsse mit  $40 \text{ m}^3$  WBM<sup>®</sup>. Grundmaterial für WBM<sup>®</sup>: Betonsand 0-2 mm.

Herstellung: mehrlagig je nach Bauablauf. Erreichter Arbeitsradius eines Trommelfahrers 15 m Verteilentfernung (ohne Hilfsmittel). Erreichte maximale Grabenverfüllleistung:  $40 \text{ m}^3$  pro Stunde. Eingesetzte Arbeitskräfte: jeweiliger Mischerfahrer.

### 5.3 Versuchsstrecke in der Gastrasse Freiligrathstraße Chemnitz

Maßnahme im Auftrag der Stadtwerke Chemnitz AG im Mai 1998. Gasleitung: Rohrmaterial HDPE;  $D_a = 180$  mm; Länge: 185 m. Verfüllung mit  $46,5 \text{ m}^3$  WBM<sup>®</sup>. Grundmaterial für WBM<sup>®</sup>: gewaschener Betonsand 0-2 mm.

#### 5.4 Versuchsbaustelle Gasregelstation Südstraße Gera

Maßnahme im Auftrag der Gasversorgung Gera GmbH im August 1999. Hohlraum-Verfüllung einer Gasverteilerstation mit 12 m<sup>3</sup> WBM<sup>®</sup>. Grundmaterial für WBM<sup>®</sup>: gewaschener Betonsand.

#### 5.5 Versuchsstrecke Trierer Straße (B 85) Weimar

Maßnahme im Auftrag der Gesellschaft für Leitungsbau und Umwelttechnik Weimar (GLU) im Oktober 1999. Gasleitung  $D_a = 110$  mm, Länge: 80 m, aus PE-HD. Verfüllung mit 55 m<sup>3</sup> WBM<sup>®</sup>. Grundmaterial für WBM<sup>®</sup>: Recycling-Material der GLU.

#### 5.6 Versuchsstrecke Bahrebach bei Chemnitz

Maßnahme im Auftrag der Bergauer Sachsen GmbH Taura im Mai 2000. Verfüllung eines Rohrgrabens für eine Gas-, Wasser- und Abwasserleitung mit einem WBM<sup>®</sup>-Volumen von insgesamt 1000 m<sup>3</sup>. Grundmaterial für WBM<sup>®</sup>: Recycling-Material. Grabentiefe: 4 m; Grabenbreite: 1,50 m.

Verfüllung in drei Schichten: Die Abwasserleitung wurde auf Veranlassung des Auftraggebers in Sand gebettet. **Bild 4** gewährt einen Blick in den teilverfüllten Rohrgraben nach abgeschlossener Einbettung der Abwasserleitung in Sand und der ersten Schicht WBM<sup>®</sup>. Danach erfolgte die Einbettung der darüber liegenden Gas- und Wasserleitung mit einer zweiten Schicht WBM<sup>®</sup> (**Bild 5**).



**Bild 4:** Blick in den teilverfüllten Rohrgraben nach abgeschlossener Einbettung der Abwasserleitung in Sand und der ersten Schicht WBM<sup>®</sup> mit aufliegender Gas- und Wasserleitung im Bereich eines Abwasserschachtes



**Bild 5:** Blick in den Rohrgraben zu Beginn der Verfüllung der 2. Schicht mit Weimarer Bau-Mörtel®

### **5.7 Grabenverfüllung einer Gasleitung zum historischen Austausch des letzten Gussrohres in Weimar**

Maßnahme im Auftrag der Stadtwerke Weimar, Stadtversorgungs-GmbH im September 2000. Gasleitung  $D_a = 110$  mm aus PE-HD, Länge: 50 m. Verfüllung mit  $12 \text{ m}^3$  WBM®. Grundmaterial für WBM®: Natursand 0-2 mm.

Alle Versuchsstrecken haben die Erwartungen erfüllt und gezeigt, dass WBM® weitgehend mit gebräuchlichen Anlagen und Maschinen der Beton- und Straßenbautechnik hergestellt und eingebaut werden kann. Die Wirtschaftlichkeit der Anwendung des WBM® im Leitungsbau hat sich bestätigt.

## **6. Schlussfolgerungen**

Der Einsatz von WBM® ist im Vergleich zur konventionellen Vorgehensweise wirtschaftlich und zwar um so mehr die Tiefbauabmessungen reduziert werden können.

Bei einer in der Ortsgasversorgung häufig vorkommenden Grabenbreite von 50 cm genügt bereits eine Reduzierung der Grabenbreite von ca. 10 bis 15 cm, um deutliche Einsparungen in der Größenordnung von ca. 10 bis 15 % zu erreichen. Das gilt für einen Mörtel-Preis von 100,- DM/m<sup>3</sup>, der bei breiterem Einsatz deutlich sinken dürfte.

Bei einer geeigneten Korngrößenverteilung konnte der Nachweis der Gasdurchlässigkeit ab 50 mbar nachgewiesen werden. Eine optimierte Körnungslinie beeinflusst die Ergebnisse wei-

ter positiv. Die in den Modellversuchen gewonnenen Ergebnisse haben keine Längsläufigkeit von Gasen an entlang von in WBM<sup>®</sup> gebetteten Leitungen festgestellt.

Betrachtet man die DVGW-Leckstellenstatistik, die für PE-Rohre nur sehr geringe Leckstellenhäufigkeiten aufweist, so kann bei Neuverlegungen die Gasdurchlässigkeit vernachlässigt werden.

WBM<sup>®</sup> stellt einen zusätzlichen Schutz gegenüber Fremdbeschädigungen dar.

## 7. Literatur

- [1] Werner, D.: Boden-Mörtel für den Leitungs-, Erd- und Straßenbau: Fließfähig und verdichtungslos einbaubar. bi bauwirtschaftliche informationen Umweltschutz, 1997, Nr. 2, 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. 1. Bregenzer Rohrleitungstage mit Fachausstellung 1996, Vortragmaterial, 10 S.
- [4] Zeller, A.: Entwicklungen beim Verfüllen von kleinen Baugruben und Rohrgräben. 3R international, 34(1995), Heft 1/2, S. 22-28
- [5] Zeller, A.: Baustellengerechte Verdichtungsnachweise für Leitungsgräben, Ergebnisse und Umsetzung des DVGW-Forschungsvorhabens. Wasser Berlin 97, 2. Internationales Rohrleitungsbausymposium, Referate, S. 86-109
- [6] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen. ZTVA-StB 97, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- [7] Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen, ATV-Arbeitsblatt A 127
- [8] Berger, Wolfgang; Krausewald, Jürgen; van Heyden, Ludger: Boden-Mörtel – Anwendungsfragen und Wirtschaftlichkeit für den Tiefbau der Gasverteilung. gwf Gas · Erdgas 140 (1999) Nr. 8, S. 513-518